



**Sérgio Renato Batista Bárbara**

Licenciado em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

## **Análise de variação de capacidade em reservatórios de instalação fixa**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Professora Doutora Helena Victorovna Guitiss Navas,  
Professora Auxiliar, FCT-UNL

Co-orientadora: Doutora Maria do Céu Ferreira, Instituto Português da  
Qualidade (IPQ)



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Março, 2020**



## **Análise de variação de capacidade em reservatórios de instalação fixa**

Copyright 2020 © Sérgio Renato Batista Bárbara, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer às minhas orientadoras, à Professora Helena Navas e à Eng<sup>a</sup> Maria Ferreira pela oportunidade dada para realizar a dissertação e toda a ajuda que me prestaram. Gostaria igualmente de agradecer à minha família por todo o apoio ao longo deste percurso académico.



## Resumo

Devido à necessidade de proporcionar aos cidadãos e à sociedade, em geral, um comércio justo e transparente, a metrologia legal tem o papel de salvaguardar o interesse público nas transações económicas, garantindo o rigor das medições efetuadas com instrumentos de medição.

O presente estudo, que decorreu no Instituto Português da Qualidade, tem como objetivo identificar se existe, entre verificações, variação da capacidade numa amostra de reservatórios de armazenamento fixo composta por dois reservatórios de teto flutuante e três de teto fixo.

Este estudo pretendeu verificar se, apesar da exatidão e rigor das medições aquando da verificação dos reservatórios de instalação fixa conforme a legislação em vigor, ocorre variação na capacidade dos reservatórios entre verificações.

Através do estudo, determinou-se que, nos reservatórios de teto flutuante, a capacidade medida em 2010 é maior em média do que a capacidade medida em 2018 e que nos reservatórios de teto fixo, para dois dos reservatórios, a capacidade medida em 2008 é menor em média do que a capacidade medida em 2018 e, para um destes, a capacidade medida em 2008 é maior em média que a capacidade medida em 2018.

O estudo permitiu também determinar as eventuais causas que originam essa mesma variação da capacidade, através de diagramas de Ishikawa, e propor uma metodologia, através de gráficos de Bland-Altman, para verificar a variação de capacidade dentro de limites pré-estabelecidos.

As propostas sugerem também a integração de novas tecnologias (*Cloud Metrology, Internet Of Things, Quantum Metrology, Big Data*) no exercício das funções inerentes à metrologia legal e ao controlo metrológico.

O estudo efetuado e as propostas poderão permitir ao Instituto Português da Qualidade e à metrologia legal dos reservatórios de armazenamento fixo, em geral, ter um melhor conhecimento da variação da capacidade entre verificações.

**Palavras-Chave:** metrologia legal, reservatórios de armazenamento fixo, variação de capacidade, controlo metrológico, verificações de reservatórios, gráficos de Bland-Altman.





## Abstract

Due to the need to provide citizens and the society in general with a fair and transparent trade, legal metrology plays a major role in protecting public interest in economic transactions by ensuring accuracy of measurement made with measuring instruments.

This dissertation, whose research project took place in the *Instituto Português de Qualidade* (Portuguese Institute for Quality), aims at identifying whether, between inspections, there is variation of capacity on a sample of fixed storage tanks composed by two storage tanks of floating roof and three of fixed roof.

The present study aims to check whether, despite the accurate and precise measurements when inspecting the fixed storage tanks in accordance with applicable legislation, there is variation in the capacity between inspections.

The study allowed to determine that for the floating roof storage tanks the capacity measured in 2010 was bigger in average than the capacity measured in 2018 and that for the fixed roof storage tanks, on two of them the capacity measured in 2008 was less on average than the capacity measured in 2018 and for one of them the capacity measured was bigger in average than the capacity measured in 2018.

Furthermore, the study allowed to determine possible causes leading to the variation of capacity through the Ishikawa diagrams, and suggests a methodology using Bland-Altman graphics to check the variation of capacity within pre-set limits.

Complementarily, the study suggests the use of new technologies (Cloud Metrology, Internet of Things, Quantum Metrology, Big Data) to carry out work or functions related to legal metrology and metrological control.

The study and its proposals enable the *Instituto Português de Qualidade* (Portuguese Institute for Quality), and legal metrology of fixed storage tanks, in general, to have a better understanding of the variation of capacity between inspections.

**Keywords:** legal metrology, fixed storage tanks, capacity variation, metrological control, tank inspections, Bland-Altman graphs



# Índice

<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Enquadramento e objetivos.....	1
1.2. Metodologia do estudo .....	2
1.3. Estrutura da Dissertação .....	3
<b>2. Qualidade e Metrologia .....</b>	<b>5</b>
2.1. Introdução à qualidade .....	5
2.2. O Sistema Português da Qualidade .....	6
2.3. Introdução à metrologia.....	11
2.4. Instituto Português da Qualidade .....	20
<b>3. Metrologia atual de reservatórios de armazenamento fixo .....</b>	<b>23</b>
3.1. Introdução a reservatórios de armazenamento fixo .....	23
3.2. Normalização aplicada à metrologia dos reservatórios de armazenamento fixo .....	29
3.3. Procedimentos normalizados para a verificação metrológica dos reservatórios .....	31
3.3.1. Tabelas volumétricas.....	33
<b>4. Análise dos dados dos reservatórios de teto flutuante .....</b>	<b>35</b>
4.1. Identificação e caracterização da amostra dos reservatórios de teto flutuante .....	35
4.2. Metodologia de análise de dados das tabelas de sondagem .....	37
4.2.1. Capacidade dos reservatórios de teto flutuante.....	38
4.2.2. Comparação de capacidade dos reservatórios de teto flutuante .....	40
4.2.3. Variação absoluta de capacidade dos reservatórios de teto flutuante .....	42
4.2.4. Histograma de variação absoluta dos reservatórios de teto flutuante .....	44
4.2.5. Variação relativa percentual dos reservatórios de teto flutuante .....	47
4.2.6. Histograma de variação relativa dos reservatórios de teto flutuante .....	49
4.2.7. Acordo da capacidade e variação dos reservatórios de teto flutuante .....	52
<b>5. Análise dos dados dos reservatórios de teto fixo .....</b>	<b>57</b>
5.1. Identificação e caracterização da amostra dos reservatórios de teto fixo .....	57
5.2. Metodologia de análise de dados das tabelas de sondagem .....	59
5.2.1. Capacidade dos reservatórios de teto fixo .....	59
5.2.2. Comparação de capacidade dos reservatórios de teto fixo .....	62
5.2.3. Variação absoluta de capacidade dos reservatórios de teto fixo .....	64
5.2.4. Histograma da variação absoluta dos reservatórios de teto fixo .....	66
5.2.5. Variação relativa percentual dos reservatórios de teto fixo .....	70
5.2.6. Histograma de variação relativa dos reservatórios de teto fixo .....	71
5.2.7. Acordo da capacidade e variação dos reservatórios de teto fixo .....	75

<b>6. Discussão de resultados e propostas de melhoria .....</b>	<b>79</b>
<b>7. Conclusões .....</b>	<b>91</b>
<b>Referências bibliográficas.....</b>	<b>93</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>101</b>
Anexo I – Excerto de tabela de sondagem –Verificação 2010 - T2014.....	102
Anexo II - Excerto de tabela de sondagem –Verificação 2018 - T2014.....	103
Anexo III – Excerto de tabela de sondagem –Verificação 2010 - T2015.....	104
Anexo IV – Excerto de tabela de sondagem –Verificação 2018 - T2015 .....	105
Anexo V – Excerto de tabela de sondagem –Verificação 2008 – T402 .....	106
Anexo VI – Excerto de tabela de sondagem –Verificação 2018 – T402 .....	107
Anexo VII – Excerto de tabela de sondagem –Verificação 2008 – T403 .....	108
Anexo VIII - Excerto de tabela de sondagem –Verificação 2018 – T403 .....	109
Anexo IX – Excerto de tabela de sondagem –Verificação 2008 – T404 .....	110
Anexo X – Excerto de tabela de sondagem –Verificação 2018 – T404 .....	111

## Índice de Figuras

Figura 2.1 - Sistema Português da Qualidade .....	7
Figura 2.2 - Atividade Normativa Nacional.....	9
Figura 2.3 - Categorias da metrologia.....	12
Figura 2.4 - Simbologia de aprovação de modelo .....	15
Figura 2.5 - Simbologia primeira verificação .....	15
Figura 2.6 - Simbologia verificação periódica .....	15
Figura 2.7 - Cadeia de Rastreabilidade .....	16
Figura 2.8 - Medidas padrão antigas .....	18
Figura 2.9 - Padrões de medida antigos - Libra, Alqueire, Almude e Côvado.....	18
Figura 2.10 - Organograma do IPQ .....	21
Figura 3.1 - Reservatório Cilíndrico Vertical de teto flutuante .....	24
Figura 3.2 - Reservatório Cilíndrico Vertical de teto fixo.....	24
Figura 3.3 - Reservatório Esférico.....	24
Figura 3.4 - Reservatório Cilíndrico Horizontal abaixo do solo.....	24
Figura 3.5 - Fita graduada.....	25
Figura 3.6 - Escala graduada .....	25
Figura 3.7 - Régua graduada .....	25
Figura 3.8 - Medidor de nível automático e painel .....	25
Figura 3.9 - Medidor de nível externo .....	25
Figura 3.10 - Válvulas de ventilação e corta-fogo.....	26
Figura 3.11 - Sensor de temperatura .....	27
Figura 3.12 - Sensor de Pressão .....	27
Figura 3.13 - Reservatório cilíndrico de teto fixo.....	28
Figura 4.1 - Gráfico de Capacidade de T2014 verificação 2010 .....	38
Figura 4.2 - Gráfico de capacidade de T2014 verificação 2018 .....	38
Figura 4.3 - Gráfico de Capacidade de T2015 verificação 2010 .....	39
Figura 4.4 - Gráfico de Capacidade de T2015 verificação 2018 .....	39
Figura 4.5 - Gráfico de comparação capacidade reservatório T2014.....	40
Figura 4.6 - Gráfico de comparação capacidade reservatório T2015.....	41
Figura 4.7 - Gráfico de variação absoluta da capacidade por altura de sondagem T2014 .....	42
Figura 4.8 - Gráfico de variação absoluta de capacidade por altura de sondagem T2015 .....	43
Figura 4.9 - Histograma variação absoluta de capacidade T2014 .....	44
Figura 4.10 - Histograma variação absoluta de capacidade T2015 .....	46
Figura 4.11 - Gráfico de variação relativa percentual da capacidade reservatório T2014 .....	48
Figura 4.12 - Gráfico de variação relativa percentual da capacidade reservatório T2015 .....	48
Figura 4.13 - Histograma variação capacidade reservatório T2014 .....	50
Figura 4.14 - Histograma variação relativa percentual capacidade reservatório T2015 .....	51
Figura 4.15 - Gráfico Bland-Altman variação absoluta reservatório T2014.....	53

Figura 4.16 - Gráfico Bland-Altman variação absoluta reservatório T2015.....	53
Figura 4.17 - Gráfico Bland-Altman variação relativa percentual T2014 .....	54
Figura 4.18 - Gráfico Bland-Altman variação relativa percentual T2015 .....	54
Figura 5.1 - Gráfico de Capacidade de T402 verificação 2008 .....	59
Figura 5.2 - Gráfico de Capacidade de T402 verificação 2018 .....	60
Figura 5.3 - Gráfico de Capacidade de T403 verificação 2008 .....	60
Figura 5.4 - Gráfico de Capacidade de T403 verificação 2018 .....	60
Figura 5.5 - Gráfico de Capacidade de T404 verificação 2008 .....	61
Figura 5.6 - Gráfico de Capacidade de T404 verificação 2018 .....	61
Figura 5.7 - Gráfico de comparação de capacidade T402.....	62
Figura 5.8 - Gráfico de comparação de capacidade T403.....	63
Figura 5.9 - Gráfico de comparação de capacidade T404.....	63
Figura 5.10 - Gráfico de variação absoluta de capacidade reservatório T402 .....	64
Figura 5.12 - Gráfico de variação absoluta de capacidade reservatório T404 .....	65
Figura 5.11 - Gráfico de variação absoluta de capacidade reservatório T403 .....	65
Figura 5.13 - Histograma variação absoluta de capacidade reservatório T402 .....	66
Figura 5.14 - Histograma variação absoluta de capacidade reservatório T403 .....	67
Figura 5.15 - Histograma variação absoluta da capacidade reservatório T404 .....	68
Figura 5.16 - Gráfico de variação relativa % da capacidade reservatório T402 .....	70
Figura 5.17 - Gráfico de variação relativa % da capacidade reservatório T403.....	70
Figura 5.18 - Gráfico de variação relativa % da capacidade reservatório T404 .....	71
Figura 5.19 - Histograma de variação relativa % da capacidade T402 .....	72
Figura 5.20 - Histograma de variação relativa % da capacidade T403 .....	73
Figura 5.21 - Histograma de variação relativa % de capacidade T404 .....	74
Figura 5.22 - Gráfico Bland-Altman variação absoluta T402 .....	76
Figura 5.23 - Gráfico Bland-Altman variação absoluta T403 .....	76
Figura 5.24 - Gráfico Bland-Altman variação absoluta T404 .....	76
Figura 5.25 - Gráfico Bland-Altman variação relativa % T402.....	77
Figura 5.26 -Gráfico Bland-Altman variação relativa % T403.....	77
Figura 5.27 - Gráfico Bland-Altman variação relativa % T404.....	78
Figura 6.1 - Teste de Kruskal-Wallis à variação absoluta dos reservatórios .....	86
Figura 6.2 - Teste de Kruskal-Wallis à variação relativa percentual dos reservatórios .....	86
Figura 6.3 - Diagrama de causas e efeito de recalibração de reservatórios .....	87
Figura 6.4 - Diagrama de causas e efeito de recálculo de reservatórios .....	88

## Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Unidades Base SI .....	20
Tabela 4.1 - Quadro de anexos dos reservatórios de teto flutuante.....	35
Tabela 4.2 - Quadro de instrumentos de medição reservatórios de teto flutuante.....	35
Tabela 4.3 - Quadro das condições de ensaio dos reservatórios de teto flutuante.....	36
Tabela 4.4 - Quadro das características dos reservatórios de teto flutuante .....	36
Tabela 4.5 - Pontos de referência dos reservatórios de teto flutuante .....	37
Tabela 4.6 - Estatística sumária dos reservatórios de teto flutuante .....	40
Tabela 4.7 - Correlação capacidade de verificações T2014 e T2015 .....	42
Tabela 4.8 - Correlação de variação absoluta reservatórios de teto flutuante .....	43
Tabela 4.9 - Estatísticas dos reservatórios de teto flutuante .....	44
Tabela 4.10 – <i>Box-plot</i> de ajustamento da Normal T2014 .....	45
Tabela 4.11 - Estatísticas reservatório T2014 .....	45
Tabela 4.12 - <i>Box-plot</i> de ajustamento da Normal T2015 .....	46
Tabela 4.13 - Estatística variação absoluta reservatório T2015.....	47
Tabela 4.14 - Estatísticas da variação relativa % dos reservatórios de teto flutuante .....	49
Tabela 4.15 - Correlação de variação relativa % da capacidade e altura de sondagem .....	49
Tabela 4.16 - <i>Box-plot</i> variação relativa percentual da capacidade T2014.....	50
Tabela 4.17 - Estatísticas de variação relativa percentual de capacidade T2014.....	51
Tabela 4.18 - <i>Box-plot</i> variação percentual relativa de capacidade T2015.....	51
Tabela 4.19 - Estatísticas da variação relativa percentual de capacidade T2015.....	52
Tabela 5.1 - Quadro de anexos dos reservatórios de teto fixo .....	57
Tabela 5.2 - Quadro de instrumentos de medição dos reservatórios de teto fixo .....	57
Tabela 5.3 - Condições de ensaio dos reservatórios de teto fixo .....	58
Tabela 5.4 - Características dos reservatórios de teto fixo.....	58
Tabela 5.5 - Pontos de referência dos reservatórios de teto fixo .....	58
Tabela 5.6 - Estatística sumária dos reservatórios de teto fixo .....	62
Tabela 5.7 - Correlação capacidade de verificações T402, T403 e T404 .....	64
Tabela 5.8 - Correlação de variação absoluta capacidade reservatórios teto fixo .....	65
Tabela 5.9 - Estatísticas dos reservatórios de teto fixo .....	66
Tabela 5.10 - <i>Box-plot</i> variação absoluta de ajustamento à Normal T402.....	67
Tabela 5.11 - Estatística variação absoluta do reservatório T402.....	67
Tabela 5.12 - <i>Box-plot</i> variação absoluta de ajustamento à Normal T403.....	68
Tabela 5.13 - Estatística variação absoluta do reservatório T403.....	68
Tabela 5.14 - <i>Box-plot</i> variação absoluta de ajustamento à Normal T404.....	69
Tabela 5.15 - Estatística variação absoluta do reservatório T404.....	69
Tabela 5.16 - Estatísticas da variação relativa percentual dos reservatórios de teto fixo .....	71
Tabela 5.17 - Correlação de variação relativa % da capacidade e altura de sondagem .....	71
Tabela 5.18 - <i>Box-plot</i> variação relativa % da capacidade T402.....	72

Tabela 5.19 - Estatística variação relativa % do reservatório T402.....	72
Tabela 5.20 - <i>Box-plot</i> variação relativa % da capacidade T403.....	73
Tabela 5.21 - Estatística variação relativa % do reservatório T403.....	73
Tabela 5.22 - <i>Box-plot</i> variação relativa % da capacidade T404.....	74
Tabela 5.23 - Estatística variação relativa % do reservatório T404.....	74



## **Siglas, abreviaturas e acrónimos**

API - *American Petroleum Institute*

BIPM – *Bureau international des poids et mesures*

CEN – *European Committee for Standardization*

CENELEC – *European Committee for Electrotechnical Standardization*

CGPM – *Conférence Générale des Poids et Mesures*

CIPM – *Comité International des Poids et Mesures*

CT – Comissão Técnica

EA – *European co-operation for Accreditation*

ETSI - *European Telecommunications Standards Institute*

EURAMET – *European Association of National Metrology Institutes*

GUM – *Guide to the expression of uncertainty in measurement*

IEC – *International Electrotechnical Commission*

ILAC – *International Laboratory Accreditation Cooperation*

IM – Instrumento de Medição

IPAC – Instituto Português de Acreditação

ISO – *International Organization for Standardization*

ITU – *International Telecommunications Union*

LMRI – Laboratório de Metrologia de Radiações Ionizantes

LNM – Laboratório Nacional de Metrologia

ME – Ministério da Economia

MEE – Ministério da Economia e do Emprego

MEI – Ministério da Economia e da Inovação

MEID – Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento

MIC – Ministério da Indústria e Comércio

MIE – Ministério da Indústria e Energia

MIEE – Ministério da Indústria, Energia e Exportação

OIML – *Organisation Internationale de Métrologie Légale*

ONN – Organismo Nacional de Normalização

ONS – Organismo de Normalização Setorial

PE - Parlamento Europeu

SI – *Système International d'Unité*

VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia

VIML – Vocabulário Internacional de Metrologia Legal

WELMEC – *European Cooperation in Legal Metrology*



# **1. Introdução**

O presente capítulo contém o enquadramento do estudo, a sua relevância, os objetivos a atingir, qual a metodologia utilizada para o efeito e como está estruturada a dissertação.

## **1.1. Enquadramento e objetivos**

A metrologia, a ciência da medição, é aplicada a todas as áreas da atividade humana onde são efetuadas medições. As medições permitem quantificar as unidades do material ou substância que é medido, tendo como base para as medições o padrão de medida que representa as unidades do sistema internacional.

Os processos de medição são utilizados na produção, na transformação de bens e processos e na prestação de serviços e investigação científica, sendo essenciais para os sectores da economia, da saúde, da segurança e do ambiente, e estão nalguns casos sujeitos a legislação por parte de autoridades públicas, por forma a assegurar a qualidade das medições nas transações comerciais, salvaguardar o interesse público e proteger o interesse dos cidadãos, a saúde pública, a segurança e o ambiente.

O presente estudo encontra-se enquadrado na área da metrologia legal e é referente ao controlo metrológico dos reservatórios de armazenamento fixo. Os reservatórios de armazenamento fixo são parte integrante das estruturas e operações de diversas indústrias, tais como, a alimentar, farmacêutica, química, petroquímica, nuclear, entre outras, estando sujeitos a controlo metrológico através de verificações periódicas e obrigatórias de acordo com legislação. Os reservatórios de armazenamento fixo a que o presente estudo se refere, são de forma cilíndrica e vertical e servem para armazenar líquidos, no caso específico, combustíveis, à pressão e temperatura ambiente.

Uma medição exata e uniforme ao longo do tempo das quantidades de volume dos reservatórios de armazenamento fixo tem importância no contexto social e económico, pois esta é perentória para o decorrer das atividades económicas e de bem-estar social. No caso do armazenamento de líquidos, esta pode assumir uma importância extrema em períodos de escassez, pois ajuda a determinar quais as capacidades de volume de líquido existente que permitem a atividade das empresas ou das comunidades, se falarmos das reservas armazenadas de combustíveis. Mesmo sem ser em períodos de escassez, esta determinação do volume de capacidade dos reservatórios pode ter importância, além da capacidade operacional, como uma medida de segurança, por exemplo, no abastecimento dos reservatórios de combustível de aviões em que o volume de líquido determina a quantidade de tempo de voo de um avião, onde é exigida uma determinação exata do combustível abastecido e até das próprias quantidades armazenadas nos aeroportos e aeródromos, por forma a satisfazer as necessidades operacionais.

A questão que serviu de base à investigação relaciona-se com a necessidade de verificar se existe alteração da capacidade dos reservatórios entre as verificações obrigatórias de controlo metrológico ao longo do tempo e foi a questão proposta à unidade de metrologia legal do Instituto Português da Qualidade (IPQ), instituição onde foi desenvolvido o presente estudo.

O IPQ, organismo sob a tutela do Ministério da Economia, é o Organismo Nacional de Normalização e a Instituição Nacional de Metrologia, sendo da responsabilidade do Departamento de Metrologia do IPQ garantir o rigor e a exatidão das medições realizadas e a realização, manutenção e desenvolvimento dos padrões das unidades de medida e, à Unidade de Metrologia Legal, integrante do Departamento de Metrologia, a responsabilidade de elaborar legislação metrológica e promover a sua aplicação, aprovar modelos de instrumentos de medição, qualificar e acompanhar entidades para a realização de operações de controlo metrológico e realizar ações de formação na área de controlo metrológico, sendo esta unidade responsável pela aprovação dos modelos dos reservatórios de armazenamento fixo, a aplicação da legislação específica e a supervisão das operações de controlo metrológico dos reservatórios.

No âmbito das atividades da unidade de metrologia legal do IPQ relativas aos reservatórios de armazenamento fixo, surgiu a necessidade de responder à questão que serviu de base ao presente estudo, sendo o objetivo específico da investigação verificar se existe ou não alteração significativa da capacidade dos reservatórios da amostra recolhida, de acordo com a portaria legal a que concernem os tipos de reservatório.

A importância das ilações a serem retiradas relaciona-se com o controlo metrológico, uma obrigação legal, que é determinado por operações de verificação com o intuito de avaliar se os reservatórios mantêm as qualidades metrológicas definidas no modelo e as tolerâncias na medição definidas por lei, por forma a assegurar a qualidade nos processos e controlo das operações na produção ou serviços e, por conseguinte, salvaguardar o interesse público.

## **1.2. Metodologia do estudo**

Na fase inicial do estudo, foi realizada uma análise a normas e procedimentos de verificação metrológica de reservatórios de armazenamento fixo.

De seguida, procedeu-se à recolha de relatórios de verificação metrológica de diversos reservatórios. Foi necessário recorrer a um *software* que permitisse extrair os dados dos valores de capacidade das tabelas volumétricas dos diversos relatórios em formato PDF e, após essa extração, procedeu-se à sua formatação e tratamento numa folha de EXCEL, verificando-se que alguns dos relatórios não permitiam uma extração e tratamento de dados que possibilitasse a sua utilização e tratamento no EXCEL.

Definiu-se a amostra a considerar para o caso de estudo em 5 reservatórios cilíndricos verticais em dois locais distintos, correspondendo a um local dois reservatórios cilíndricos verticais de teto flutuante e ao outro local três reservatórios cilíndricos de teto fixo. A amostra foi definida através da possibilidade de extração dos dados dos relatórios de verificação metrológica e não seguiu nenhuma regra estatística para a sua definição.

Optou-se por uma abordagem baseada no método de Bland-Altman, em que é realizada uma comparação de resultados obtidos em medições de diferentes, ou dos mesmos, instrumentos ou métodos de medição, que, com base em limites de acordo pré-estabelecidos, permitem avaliar se os resultados estão em acordo com especificações e se é possível usar um instrumento ou método em detrimento de outro ou se ambos são passíveis de ser utilizados conforme o pré-estabelecido ou se medições com os mesmos métodos e instrumentos se encontram sobre acordo conforme especificado.

Em seguida foi utilizado o *software* JMP da SAS para elaboração de vários gráficos, tais como o da capacidade por altura de sondagem entre verificações, para determinar os intervalos de capacidade entre verificações, e os gráficos de regressão linear para verificar se os valores de capacidade entre verificações se relacionavam linearmente, também foram construídos os gráficos da variação absoluta e da variação relativa percentual ao longo da altura de sondagem para observar o comportamento da variação ao longo do corpo do reservatório e se existia correlação da variação com a altura, foi verificado através de histogramas e o teste de Kolmogorov-Smirnov a normalidade das distribuições da variação absoluta e relativa percentual e com base na metodologia apresentada por Bland-Altman, foi construído o gráfico da variação absoluta para comparar com um limite hipotético de especificação e feita uma adaptação à metodologia de Bland-Altman para a variação relativa percentual e comparação com um limite de especificação hipotético.

Após esta metodologia, recorrendo à representação gráfica dos dados na discussão dos resultados, elaborou-se um diagrama de Ishikawa de possíveis causas que condicionam os resultados obtidos e, ainda no mesmo capítulo, procedeu-se à comparação das amostras, para saber se as suas distribuições são semelhantes.

### **1.3. Estrutura da Dissertação**

A dissertação está dividida em sete capítulos, iniciando-se no primeiro capítulo uma breve introdução à análise do caso de estudo, ao seu enquadramento e objetivos, à metodologia que se utilizou para abordar o caso de estudo e a forma como está estruturada a dissertação.

No segundo capítulo é feita uma introdução aos temas da Qualidade, do Sistema Português da Qualidade e da Metrologia, e dos seus subsistemas e das unidades do sistema internacional e da estrutura do Instituto Português da Qualidade.

No terceiro capítulo é feita uma introdução aos reservatórios de armazenamento fixo, à normalização aplicada à metrologia dos reservatórios e aos procedimentos normalizados para a verificação metrológica destes.

Nos quarto e quinto capítulos é realizada uma análise aos dados recolhidos para as diferentes amostras de reservatórios de teto flutuante e de teto fixo, respetivamente.

No sexto capítulo, é efetuada a discussão dos resultados, a identificação de problemas encontrados na análise ao caso de estudo e sugeridas propostas de melhoria referentes aos problemas referenciados.

Por fim, no sétimo e último capítulo, são apresentadas as conclusões obtidas através da análise e discussão do caso de estudo.

## **2. Qualidade e Metrologia**

Neste capítulo é feita uma introdução aos conceitos de qualidade e metrologia.

### **2.1. Introdução à qualidade**

Qualidade é um conceito dinâmico que tem evoluído ao longo dos tempos, partindo de um pressuposto inerente ao Homem que é a satisfação das suas necessidades. Esse pressuposto tem suscitado, até aos dias de hoje, a criação de ferramentas, técnicas, objetos e produtos.

Constatou-se que, desde os tempos primordiais e da origem das criações humanas, sempre existiu a preocupação de executar bem o trabalho, escolhendo as melhores técnicas, materiais, formas e dimensões que satisfizessem a função para o qual o objeto ou produto procurado para colmatar as necessidades humanas foi concebido (Pereira & Requeijo, 2012), ou seja, a preocupação de que a execução do trabalho fosse realizada com qualidade.

Com o natural crescimento dos aglomerados populacionais e das trocas comerciais inerentes às relações humanas, o consequente aumento de procura e da troca de produtos e objetos terá despoletado a evolução do conceito de qualidade, tendo sido também ao longo do tempo percecionadas e até induzidas novas necessidades de bens, de características nos produtos e de meios tecnológicos.

Fruto das novas necessidades relacionadas com os produtos e a necessidade de colmatar a procura das populações, o papel antes desempenhado pelo artesão na produção seria substituído, no século XVIII, por máquinas e novos meios tecnológicos (Pereira & Requeijo, 2012). Essa transição entre o papel antes desempenhado pelo artesão na produção, sendo substituído por máquinas e tecnologias que caracterizam a produção industrial, levou ao crescimento da indústria.

No decorrer do desenvolvimento das operações e trocas de bens e produtos entre países na esfera de ação das indústrias, as organizações industriais depararam-se com novos problemas na produção, evidenciados em determinados eventos históricos como a 1.<sup>a</sup> e 2.<sup>a</sup> Guerra Mundial e também no próprio tempo e ciclo de vida das organizações industriais.

Face à perceção dos novos problemas e de novas necessidades, novas formas de abordar a produção, a criação de produtos e a relação com os seus utilizadores foram surgindo, crescendo também o número de organizações que se dedicam à comercialização de produtos e serviços nos mercados globais até ao presente.

Para além da boa execução do trabalho, o Conceito de Qualidade é hoje considerado como um conjunto de princípios, métodos e técnicas adotados pelas organizações com o intuito de melhorar a sua produtividade e competitividade, de forma a que subsistam enquanto organizações, procurando através dos meios e práticas desenvolvidas uma constante melhoria contínua, ao, no decorrer das suas atividades, reduzirem custos, melhorarem a qualidade e perceção de qualidade dos seus produtos e serviços em máxima segurança e minorarem o seu impacto ambiental.

Podemos ainda referir-nos à Qualidade como uma estratégia ou filosofia de gestão pela qualidade que engloba a implementação dos princípios, técnicas e ferramentas que lhe são inerentes.

Alguns dos métodos e técnicas inerentes ao conceito de Qualidade consistem em ferramentas da qualidade para análise e resolução de problemas, compostas por fluxogramas e diagramas, tais como o Diagrama de Causa-Efeito ou o Diagrama de Ishikawa, entre outros, *Benchmarking*, Análise do valor, Análise modal de Falhas e Efeitos, Desdobramento da Função Qualidade e também técnicas estatísticas que permitem o controlo de qualidade da produção, de acordo com especificações definidas através de Cartas de Controlo e Desenho de Experiências (Pereira & Requeijo, 2012).

Apesar de a Qualidade envolver aspetos subjetivos, esta é objetivada e quantificada de forma mensurável, por forma a ser controlada e gerida (Pereira & Requeijo, 2012), sendo a Metrologia, a ciência da medição, responsável pela garantia das medições, uma componente e ferramenta inerente à Qualidade.

A Qualidade também se prende com normas e diretivas internacionalmente reconhecidas e adotadas que garantem a uniformização de técnicas e medidas. A adoção de Sistemas de Gestão da Qualidade pelas organizações, como um conjunto de procedimentos organizacionais, garante que as normas e diretivas são aplicadas, sendo uma componente estrutural que permite atingir níveis de qualidade especificados com confiança (Pereira & Requeijo, 2012).

## **2.2. O Sistema Português da Qualidade**

O Sistema Português da Qualidade (SPQ) é o Sistema Nacional de Gestão da Qualidade que tem o objetivo de garantir a qualidade e credibilidade dos agentes económicos nacionais, para que melhorem a sua competitividade interna e internacional, sustentando o crescimento da economia nacional e a satisfação das necessidades e expectativas da sociedade, segundo o Decreto-Lei nº 71/2012 (MEE, 2012).



O SPQ foi criado em 1983 devido à necessidade de implementar uma política para a Qualidade a nível nacional segundo as diretivas do Decreto-Lei nº 165/83 (MIEE, 1983), tendo sofrido diversas revogações em sucessivos decretos-lei, que implicaram reestruturações ao SPQ, sendo atualmente determinado pelo Decreto-Lei nº 71/2012 (MEE, 2012) e o Decreto-Lei n.º 80/2014 (ME, 2014). O SPQ encontra-se sobre a tutela do Ministério da Economia e é coordenado e administrado pelo Instituto Português da Qualidade (IPQ), um serviço de administração indireta do Estado.

O SPQ é definido pelo Decreto-Lei nº 71/2012 (MEE, 2012) como um “conjunto integrado de entidades e organizações inter-relacionadas e interagentes que, seguindo princípios, regras e procedimentos aceites internacionalmente, congrega esforços para a dinamização da Qualidade em Portugal e assegura a coordenação dos três subsistemas — da normalização, da qualificação e da metrologia, com vista ao desenvolvimento sustentado do País e ao aumento da qualidade de vida da sociedade”.

O SPQ, como indicado, é constituído por três subsistemas, o subsistema da normalização, da metrologia e da qualificação, como esquematizado na figura 2.1.

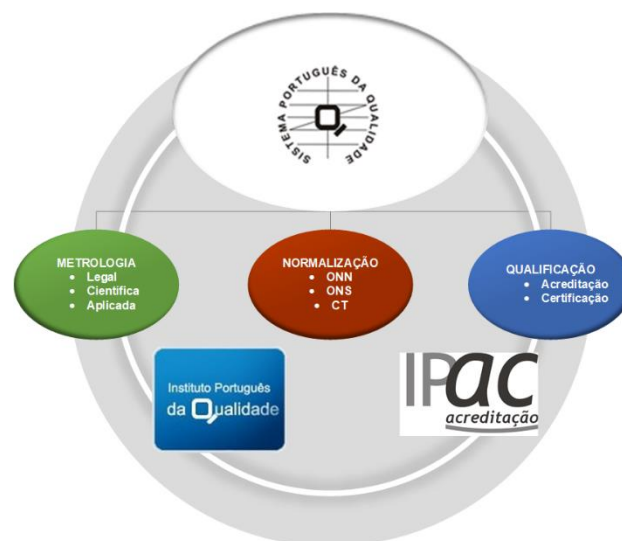


Figura 2.1 - Sistema Português da Qualidade (adaptado de IPQ, 2019)

- **Subsistema da Metrologia**

O subsistema da metrologia é o “subsistema do SPQ que garante o rigor e a exatidão das medições realizadas, assegurando a sua comparabilidade e rastreabilidade, a nível nacional e internacional, e a realização, manutenção e desenvolvimento dos padrões das unidades de medida”, segundo o Decreto-lei nº 142/2007 (MEI, 2007). A metrologia encontra-se dividida em três categorias conforme a sua área de atuação: a metrologia científica, legal e aplicada.

A metrologia científica é responsável pela organização, manutenção e desenvolvimento dos padrões de medida das unidades do sistema internacional, materializando-os, com recurso às ciências e às constantes físicas fundamentais.

A metrologia aplicada ou industrial está relacionada com o funcionamento dos instrumentos de medição, usados na produção, na transformação de bens e processos de teste na indústria. Relaciona-se com os instrumentos utilizados para as medições nos processos e controlo de produção, por forma a assegurar a qualidade e salvaguarda do interesse público.

A metrologia legal compreende a totalidade de processos técnicos e administrativos estabelecidos por lei pelas autoridades públicas, com o intuito de garantir a qualidade das medições efetuadas nas transações comerciais (WELMEC, 2019), cumprindo os requisitos para o comércio e tendo como objetivo proteger os interesses dos cidadãos e empresas e contribuir para a proteção da saúde pública, da segurança e do ambiente (IPQ, 2017).

Será abordado mais à frente o tema da metrologia e os subsistemas de metrologia, onde iremos introduzir de forma mais detalhada os subsistemas e com uma breve introdução histórica acerca da origem da metrologia.

- **Subsistema da Normalização**

De acordo com o Decreto-lei nº 142/2007 (MEI, 2007), o subsistema da normalização é o “subsistema do SPQ que enquadra as atividades de elaboração de normas e outros documentos de carácter normativo de âmbito nacional, europeu e internacional.”

O IPQ é o Organismo Nacional de Normalização (ONN) em Portugal e desempenha um papel que consiste na coordenação do Subsistema da Normalização.

A Normalização, segundo o IPQ, “é a atividade destinada a estabelecer, face a problemas reais ou potenciais, disposições para a utilização comum e repetida, tendo em vista a obtenção do grau ótimo de ordem, num determinado contexto” (IPQ, 2019).

As Normas são “documentos técnicos que fornecem regras, orientações ou características para produtos ou serviços estabelecidos por consenso e aprovadas por um organismo de normalização reconhecido, baseando-se em resultados comprovados, científicos, técnicos ou experimentais, que visam a otimização de benefícios para a sociedade” (IPQ, 2017).

A adoção das normas pressupõe uma aplicação voluntária. Contudo, estas podem ser obrigatórias se indicado num contrato ou em diploma legal, podendo ser aplicadas por facto, quando são adotadas comumente.

A aplicação de Normas tem um papel importante na sociedade, pois garante a segurança de produtos, equipamentos e sistemas, cumprindo os fabricantes com indicações e legislação internacional, regional ou nacional. As normas constituem uma linguagem universal e comum que confere confiança e competitividade às empresas e são fundamentais para o crescimento económico e a consolidação de um mercado único.

As normas são elaboradas em diferentes níveis por diferentes organismos:

Normas internacionais – Organismos responsáveis:

- *International Organization for Standardization* (ISO)
- *International Electrotechnical Commission* (IEC)
- *International Telecommunications Union* (ITU)

Normas Europeias – Organismos responsáveis:

- *European Committee for Standardization* (CEN)
- *European Committee for Electrotechnical Standardization* (CENELEC)
- *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI)

Normas Nacionais – Organismo responsável:

- Instituto Português da Qualidade (IPQ)

#### ○ **Atividade Normativa Nacional**

A atividade normativa nacional é efetuada com a participação de várias entidades, através da qualificação dos Organismos de Normalização Setorial (ONS) reconhecidos pelo ONN, o IPQ, em determinados domínios e, as Comissões Técnicas (CT), coordenadas e acompanhadas pelos respetivos ONS, que são os órgãos técnicos que elaboram as normas e pareceres normativos e representam Portugal nos comités técnicos europeus e internacionais, conforme ilustrado na figura 2.2.

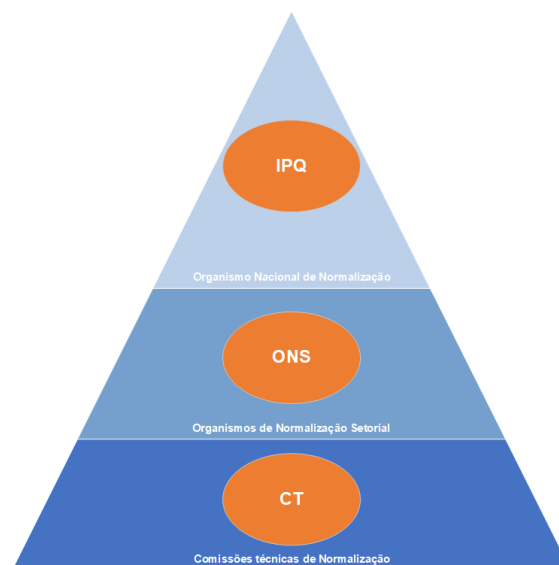


Figura 2.2 - Atividade Normativa Nacional (adaptado de IPQ, 2019)

O IPQ promove a elaboração, aprovação e homologação dos documentos normativos portugueses e a adoção dos documentos normativos europeus, coordena e qualifica os Organismos de Normalização Setorial (ONS) e coordena e cria as Comissões Técnicas de Normalização (CT).

Os ONS podem ser entidades de cariz jurídico, público, privado ou misto, como associações empresariais, instituições académicas, laboratórios, empresas de certificação, etc., abrangendo vários domínios, tais como o ambiente, a área alimentar, as comunicações, entre muitos outros.

As CT são constituídas por pessoas nomeadas para o efeito, representando também diversas entidades, que desenvolvem trabalho, por norma, em reuniões e organizando-se em subcomissões ou grupos de trabalho no seu respetivo domínio.

- **Subsistema da Qualificação**

O subsistema da qualificação é o “subsistema do SPQ que enquadra as atividades da acreditação, da certificação e outras de reconhecimento de competências e de avaliação da conformidade, no âmbito do SPQ”, conforme o Decreto-lei nº 142/2007 (MEI, 2007).

O Instituto Português de Acreditação (IPAC), instituto público sobre a tutela do Ministério da Economia é o organismo nacional de acreditação, regido pelo Decreto-Lei n.º 23/2011 (MEID, 2011) e Regulamento (CE) Nº 765/2008 (PE, 2008). Tem a seu encargo o subsistema da qualificação, constitui a única entidade responsável pela acreditação em Portugal e é responsável pela regulação dos organismos de certificação.

De acordo com o IPAC, a atividade de acreditação “consiste na avaliação e reconhecimento da competência técnica de entidades para efetuar atividades específicas de avaliação da conformidade”, com base em normas nacionais, europeias ou internacionais, garantido o reconhecimento mútuo a nível internacional. A atividade de acreditação é avaliada através de um sistema de reconhecimento pelos pares, conforme legislado.

A avaliação de conformidade é o processo que visa demonstrar que um dado produto, processo, serviço, sistema, pessoa ou organismo cumpre com requisitos que lhe são especificamente aplicáveis, consistindo a acreditação no reconhecimento formal de competências para realizar atividades específicas, tais como ensaios, calibrações, verificações e certificações. A acreditação pode ser de cariz voluntário, exigida contratualmente ou imposta por lei para o exercício de atividade.

Certificação é o processo pelo qual uma terceira entidade acreditada dá uma garantia formal de que um produto, processo, serviço, pessoa ou sistema está em conformidade com requisitos especificados, diferenciando-se a certificação da acreditação quanto aos objetivos e normas utilizados (IPAC, 2019).

A qualificação obtida conforme os processos de acreditação e certificação é enquadrada com a necessidade de garantir que são cumpridos e fiscalizados os requisitos que asseguram a proteção do interesse público na comercialização de produtos e serviços no mercado nacional e da comunidade europeia em diversos domínios como a saúde, segurança, ambiente e defesa dos consumidores.

### **2.3. Introdução à metrologia**

A história da metrologia confunde-se com a das civilizações e da formação dos Estados. O desenvolvimento das civilizações requereu uma vasta gama de medidas usadas no dia a dia, tais como, as do tempo e do calendário, distância e área, pesos e medidas.

A relação simbiótica da metrologia com o Estado dependia da sua capacidade para providenciar informação para organizar, planear e defender a taxaço com eficiência. Por sua vez, a metrologia dependia da capacidade de imposição e credibilização das medidas padrão e de requerimentos para controlar a fraude nas trocas comerciais por parte dos Estados, assegurando, por esses meios, a integridade do comércio (Birch, 2003).

Outra forma de assegurar a integridade moral das medidas padrão e da metrologia era a inscrição em livros de teor religioso, por exemplo, a Tora, a Bíblia, o Alcorão, os Analectos de Confúcio e Artaxastra (Birch, 2003).

As práticas de organização do trabalho na agricultura e manufatura dependiam de medições uniformes para assegurar a conformidade das medidas. Um requisito fundamental para assegurar a consistência das medidas era a rastreabilidade aos padrões (reais). Por exemplo, durante a Dinastia Shang, há aproximadamente 3500 anos, na China, existia um sistema de instrumentos de medição padrão para comprimento, massa e capacidade. A uma organização estatal e aos seus oficiais incumbia a responsabilidade de verificar a exatidão desses instrumentos duas vezes por ano, instrumentos esses que eram padrões usados, para além do comércio, para a manufatura de armas, veículos, artefactos e construção de edifícios (Birch, 2003). Poderá dizer-se que a metrologia e o seu desenvolvimento terão surgido da necessidade de informação por parte dos Estados, sendo que quando ocorria o declínio dos Estados também o mesmo ocorria à metrologia (Birch, 2003).

Nos dias de hoje, a metrologia é reconhecida como a ciência da medição e as suas aplicações, compreendendo todas as questões teóricas e práticas relacionadas com as medições e todos os processos em qualquer campo de ciência e tecnologia onde estas são efetuadas, independentemente do nível de incerteza, incluindo as unidades de medida, os padrões de medida, os instrumentos de medição, e abrangendo ainda as capacidades do operador e as condições ambientais onde são efetuadas as medições.

A metrologia tem como principais responsabilidades a definição de unidades de medida internacionalmente aceites, a realização dessas mesmas unidades de medida através de métodos científicos e o estabelecimento e disseminação da rastreabilidade das unidades de medida internacionais (EURAMET, 2019).

Verifica-se, assim, a importância da metrologia enquanto ciência da medição, pois esta compreende quase todas as áreas da atividade humana, fornecendo o suporte material fiável ao sistema de medições essencial nos setores da economia, da saúde, da segurança e do ambiente, constituindo uma infraestrutura tecnológica essencial nas sociedades modernas (IPQ, 2019).

A metrologia encontra-se dividida em três categorias conforme a sua área de atuação: a metrologia científica, legal e aplicada, conforme ilustrado na figura 2.3.

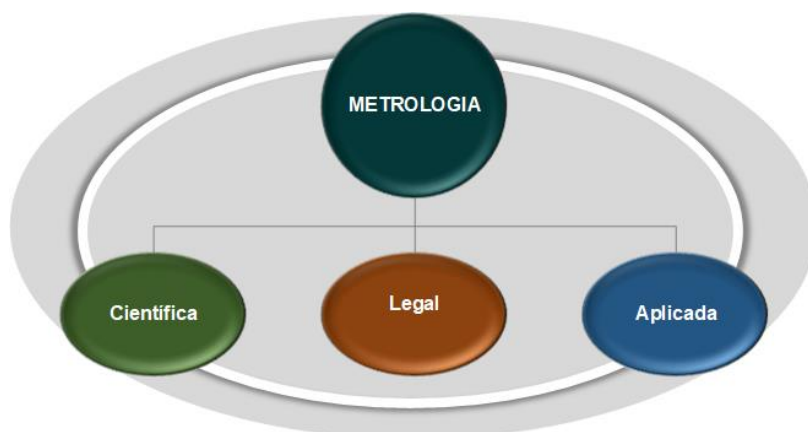


Figura 2.3 - Categorias da metrologia (adaptado Filipe, E., 2015)

- **Metrologia Científica**

A metrologia científica é responsável pela organização, manutenção e desenvolvimento dos padrões de medida das unidades do sistema internacional, materializando-os com recurso às ciências (física e outras) e às constantes físicas fundamentais.

A metrologia científica está dividida em nove campos de domínio, de acordo com o *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM): Acústica, Quantidade de Substância, Eletricidade e

Magnetismo, Radiação Ionizante e Radioatividade, Comprimento, Massa, Fotometria e Radiometria, Termometria e Tempo e Frequência (EURAMET, 2019).

O BIPM é a entidade responsável a nível internacional pela definição das unidades de grandeza do Sistema Internacional (SI), as suas escalas e a materialização das grandezas físicas e os seus protótipos de padrões de medida.

Os laboratórios primários são os laboratórios nacionais responsáveis pela conservação e desenvolvimento dos padrões de medida nacionais, que são cedidos e provêm do BIPM, e também pelo rigor e rastreabilidade metrológica das medições a nível nacional dos respetivos laboratórios.

A metrologia científica atua ao nível mais alto de exatidão e incerteza, sendo a garantia dos valores obtidos verificada através da comparação com outros laboratórios primários (Sousa, 2008).

O laboratório primário em Portugal é o Laboratório Nacional de Metrologia (LNM), que se encontra integrado na estrutura do IPQ e, no caso específico do domínio da radiação ionizante, é o Laboratório de Metrologia das Radiações Ionizantes (LMRI).

- **Metrologia Legal**

A metrologia legal compreende a totalidade de processos técnicos e administrativos estabelecidos por lei pelas autoridades públicas, com o intuito de garantir a qualidade das medições efetuadas nas transações comerciais (WELMEC, 2019), cumprindo os requisitos para o comércio e tendo como objetivo proteger os interesses dos cidadãos e empresas e contribuir para a proteção da saúde pública, da segurança e do ambiente (IPQ, 2017).

A metrologia legal advém da necessidade de assegurar o comércio justo e a transparência das transações económicas em que existe, em particular, o requisito para a verificação legal do instrumento de medição (EURAMET, 2019).

Os regulamentos técnicos e os seus requisitos do domínio da metrologia legal devem ser compatíveis com as recomendações da Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML), por forma a simplificar e clarificar procedimentos, sendo a implementação dos regulamentos alvo de atos legislativos e de aprovação a nível governamental.

De acordo com o Vocabulário Internacional de Metrologia Legal (VIML), os atos legislativos e regulamentares especificam, em particular, as unidades de medida legais e prescrevem:

- os requisitos relativos às características dos instrumentos de medição;
- a exatidão de medição, quando definida legalmente;
- um sistema de controlo metrológico legal dos instrumentos de medição;
- a vigilância metrológica.

#### ○ **Controlo Metrológico Legal**

O controlo metrológico está legislado de acordo com o Decreto-Lei 291/90 (MIE, 1990) e o Decreto-Lei 192/2006 (MEI, 2006), que transpõem para a ordem jurídica interna a Diretiva nº 2004/22/CE (PE, 2004).

De acordo com o Decreto-Lei 192/2006 (MEI, 2006), o controlo metrológico “é uma disciplina regulamentada pelo Estado, destinada a promover a defesa do consumidor e a proporcionar à sociedade, em geral, e aos cidadãos, em particular, a garantia do rigor das medições efetuadas com os instrumentos de medição”. Corresponde-lhe um conjunto de atividades inerentes à metrologia legal que abrangem os aparelhos utilizados nas transações comerciais, no mercado europeu, em áreas como a alimentar, saúde, energia, fiscal, ambiente, segurança de bens e pessoas e até dos próprios instrumentos usados no controlo metrológico dos aparelhos usados no âmbito das transações.

Segundo o IPQ, “O controlo metrológico dos instrumentos de medição (IM) tem por objetivo garantir a exatidão do resultado das medições dentro de limites legalmente estabelecidos” (IPQ, 2019).

Algumas das operações legais a que são submetidos os instrumentos são:

- A aprovação do modelo;

Decisão de que o modelo do instrumento de medição ou dispositivo complementar está em conformidade com as especificações legais relativas à sua categoria.

Este parecer é da responsabilidade do IPQ e, no caso de parecer positivo, é emitido um documento de aprovação do modelo, através de Despacho em Diário da República, sendo exposto o símbolo respetivo no instrumento de medição.

A simbologia que traduz a avaliação de conformidade é regulada pela Portaria nº 962/90 (MIE, 1990), que se refere ao Regulamento Geral do Controlo metrológico.

Na figura 2.4, é apresentada a simbologia de aprovação de modelo.





Figura 2.4 - Simbologia de aprovação de modelo (IPQ, 2019)

- a primeira verificação;

Operações que têm o intuito de verificar que o instrumento de medição, novo ou reparado, se encontra conforme as especificações do modelo aprovado, sendo a simbologia de primeira verificação apresentada na figura 2.5.

Este papel é desempenhado pelas entidades acreditadas para o efeito, estatais ou privadas.



Figura 2.5 - Simbologia primeira verificação (IPQ, 2019)

- a verificação periódica;

Operações que permitem averiguar se os instrumentos mantêm as qualidades metrológicas definidas no modelo e as tolerâncias na medição definidas por lei, a verificação ocorre em intervalos de tempo legalmente estabelecidos.

Estas operações também são efetuadas por entidades acreditadas.

A simbologia da verificação periódica é representada na figura 2.6.



Figura 2.6 - Simbologia verificação periódica (IPQ, 2019)

De acordo com O IPQ, estão sujeitas ao controlo metrológico em Portugal 39 categorias de instrumentos de medição e também as garrafas-recipiente medida e os pré-embalados (IPQ, 2019).

- **Metrologia Aplicada**

A metrologia aplicada ou industrial está relacionada com o funcionamento dos instrumentos de medição, usados na produção, na transformação de bens e processos de teste na indústria, relaciona-se com os instrumentos utilizados para as medições nos processos e controlo de produção, por forma a assegurar a qualidade e salvaguarda do interesse público. O rigor e qualidade das medições é assegurada devido à rastreabilidade metrológica com os padrões primários seguindo uma cadeia hierarquizada.

Algumas empresas têm o seu próprio laboratório de metrologia estando sujeitas à qualificação dos mesmos e têm a seu cargo o controlo de produtos, processos, calibrações, entre outras tarefas.

- **Rastreabilidade Metrológica**

A rastreabilidade metrológica é a propriedade de um resultado de medição pela qual tal resultado pode ser relacionado a uma referência através duma cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição (IPQ, 2018). A rastreabilidade metrológica segue uma hierarquia de calibração conforme a cadeia de rastreabilidade da medição ao padrão de referência descrita na figura 2.7.

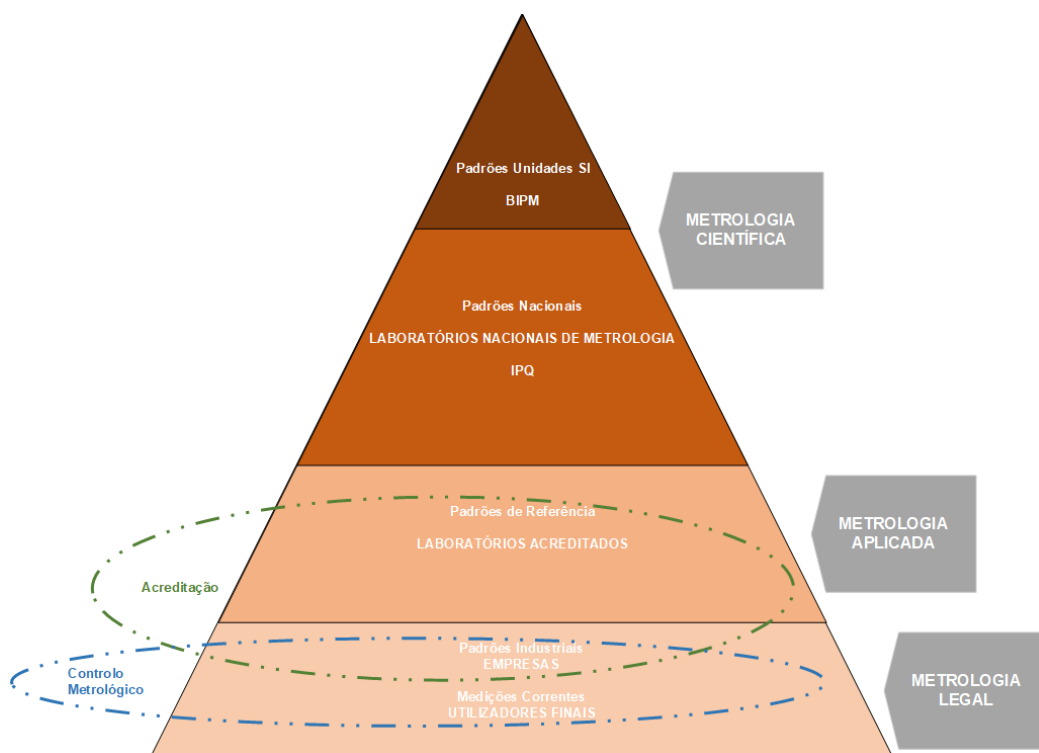


Figura 2.7 - Cadeia de Rastreabilidade (adaptado, Filipe, E., 2015)

A incerteza é uma medida quantitativa, que geralmente corresponde a um intervalo de dispersão de valores numa determinada escala de incerteza da medição, que mede qualitativamente a medição e permite comparar os resultados da medição a referências, normas ou especificações de “erros” ou incertezas admissíveis.

- **Calibração e Verificação**

Seja qual for o instrumento de medição considerado, deve existir um processo de comparação periódico e sistemático que permita prevenir qualquer degradação da qualidade das medidas a obter e assegurar a sua credibilidade ao longo do tempo (Cabral, 1994). A periodicidade das calibrações pode ser revista e readaptada conforme experiência adquirida ao longo do tempo e vários fatores, tais como a frequência e o tipo de utilização dos instrumentos, as derivas esperadas, a incerteza da calibração, o desgaste e a natureza do equipamento e restrições económicas. No caso das verificações, a sua periodicidade é definida pelo regulamento de controlo metrológico respetivo ao instrumento de medição (Cabral, 1994). As calibrações são de cariz voluntário. Contudo, para a certificação do Sistema de Gestão de Qualidade ou produto de uma empresa, é necessária a apresentação dos certificados de calibração. Já as verificações são regulamentadas por lei, através de Portaria em Diário da República, e têm cariz obrigatório.

A calibração é uma operação que estabelece uma relação das indicações obtidas pelo instrumento de medição com os valores e as incertezas do padrão de referência (referência essa que pode ser um procedimento de medição), obtendo-se *a posteriori* na calibração, um resultado de medição a partir das indicações que respeitam uma hierarquia de calibração em que o resultado da calibração depende do resultado da calibração precedente.

A verificação é o procedimento de avaliação de conformidade (que não seja a avaliação de modelo) que conduz à aposição de uma marca de verificação e/ou a emissão de um certificado de verificação. A confirmação de que as propriedades relativas ao desempenho ou aos requisitos legais são satisfeitas por um sistema de medição (IPQ, 2017) é o fornecimento de evidência objetiva de que um dado item satisfaz requisitos especificados (por exemplo, pelo fabricante) (IPQ, 2018).

A verificação influencia a decisão de continuar a utilização, reparação ou inoperacionalidade do instrumento ou sistema de medição conforme o uso pretendido do mesmo.

- **Unidades SI**

As medidas e os padrões de medida surgiram com o natural desenvolvimento das civilizações, das suas obras, dos seus artefactos e das suas trocas comerciais.

De mencionar que algumas das obras arquitetônicas tais como as das antigas civilizações maias, aztecas e egípcias, não seriam possíveis sem um padrão que permitisse uniformizar os blocos de construção (Sousa, 2010).

No caso dos egípcios, mediam-se ângulos e distâncias, sendo papel do arquiteto real calibrar a unidade de comprimento padrão a cada lua cheia, o cúbito, que era a distância do cotovelo à ponta do dedo médio do faraó, gravado num bloco de granito e determinando o padrão, do qual se faziam cópias em madeira e distribuídas aos operários, se não fosse pelos padrões de medida rastreáveis ao padrão de referência, tais obras teriam ficado distorcidas (Sousa, 2010).

Existem também, por exemplo, referências na Bíblia acerca de padrões de medida antigos, como o côvado, usado na construção de uma arca que continha objetos sagrados.

Algumas das medidas padrão antigas são ilustradas na figura 2.8.

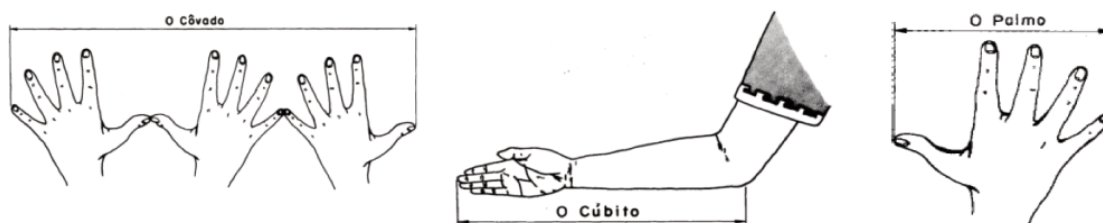


Figura 2.8 - Medidas padrão antigas (Guedes, 2014)

Algumas das medidas usadas em Portugal em tempos antigos nas trocas comerciais de volume de secos, como farinha e feijões, era o alqueire e, para o volume de líquidos, como o vinho, o almude, para o peso, as libras, feitas de granito e cujo peso era diferente se fosse de origem romana ou árabe, ainda o côvado para o comprimento, com base na medida humana do palmo (IPQ, 2019).

A medida padrão de comprimento encontrava-se muitas vezes desenhada numa estrutura local onde se realizavam as feiras nos castelos.

Algumas medidas padrões antigas usadas em Portugal são representadas na figura 2.9.



Figura 2.9 - Padrões de medida antigos - Libra, Alqueire, Almude e Côvado (IPQ, 2019)

Em Portugal, durante a Idade Média, os padrões e normas metrológicas eram inscritos nas cartas forais que ditavam os regulamentos às comunidades locais.

Verificava-se, contudo, que as medidas e os padrões de medida não eram uniformes de região para região e de país para país e, com a consolidação dos Estados e o aumento das trocas comerciais, rapidamente se colocou a necessidade da uniformização dos padrões.

Algumas reformas foram tentadas e realizadas com o intuito de uniformizar e relacionar os padrões em Portugal ao longo dos tempos.

Tendo sido adotado o Sistema Métrico Decimal e respetiva nomenclatura em Portugal em 1852, que tomou como base trabalhos já desenvolvidos em França no final do séc. XVIII pela Academia Francesa de Ciências, após uma anterior adoção ao mesmo sistema com nomenclatura portuguesa (IPQ, 2019).

Outros países perceberam também a qualidade do sistema francês e resolveram adotá-lo, tendo surgido em 1875 a Convenção do Metro, convenção assinada inicialmente por 17 países, incluindo Portugal, de onde surgiram três organizações internacionais ainda atuais (IPQ, 2019):

- A *Conférence Générale des Poids et Mesures* (CGPM), composta por delegados dos Estados-membros e observadores seus associados, que tem como objetivo discutir e examinar os preparativos para a disseminação do Sistema de Unidades Internacional e implementar melhorias neste mesmo sistema;
- O BIPM, que tem como principais objetivos a colaboração científica e técnica para desenvolver os protótipos dos padrões de referência de medida das unidades do SI, estabelecer comparações e calibrações dos padrões de referência dos laboratórios nacionais de metrologia dos seus Estados membros e ainda coordenar o sistema de medidas a nível global;
- E o *Comité International des Poids et Mesures* (CIPM), composto por peritos eleitos pelo CGPM e os seus comités técnicos consultivos que têm o objetivo de uniformizar as unidades de medida a nível global através de ação direta e resoluções emitidas. (BIPM, 2019).

Todos os trabalhos, resoluções, recomendações e relatórios emitidos pelas instituições referidas são emitidas pelo BIPM. Devido aos esforços e colaboração dos intervenientes das diversas instituições, dos seus avanços científicos e tecnológicos ao longo do tempo, o Sistema Métrico Decimal mudou a sua denominação para Sistema Internacional de Unidades (SI), tendo as definições das unidades de medida sofrido alterações acompanhando a evolução dos trabalhos das instituições.

O SI consiste na definição de unidades de base, as unidades derivadas, e os seus múltiplos e submúltiplos, tendo sido recentemente votado a favor a 16 de novembro de 2018 a revisão do SI, no encontro da CGPM, revisão essa que vigora a partir de 20 de maio de 2019 (IPQ, 2019). As unidades base do SI a que correspondem as grandezas físicas observadas em fenómenos, corpos ou substâncias, da natureza e as suas constantes de definição conforme recente revisão são as ilustradas na tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Unidades Base SI (IPQ, 2019)

Grandeza	Unidade de base	Símbolo	Constante de definição	Símbolo	Valor
comprimento	metro	m	velocidade da luz no vazio	$c$	299 792 458 m/s
massa	quilograma	kg	constante de Planck	$h$	$6,626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
tempo	segundo	s	frequência de transição hiperfina do átomo de cézio	$\Delta\nu_{\text{Cs}}$	9 192 631 770 Hz
corrente elétrica	ampere	A	carga elementar	$e$	$1,602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{ C}$
temperatura termodinâmica	kelvin	K	constante de Boltzmann	$k$	$1,380\,649 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
quantidade de matéria	mole	mol	constante de Avogadro	$N_{\text{A}}$	$6,022\,140\,76 \times 10^{23}/\text{mol}$
intensidade luminosa	candela	cd	eficácia luminosa da radiação monocromática de frequência 540 THz	$K_{\text{cd}}$	683 lm/W

## 2.4. Instituto Português da Qualidade

O IPQ é um instituto público, sob a tutela do Ministério da Economia, criado através do Decreto-Lei n.º 183/86 (MIC, 1986), tendo sido determinada e reestruturada a sua lei orgânica atual pelos Decreto-Lei 71/2012 (MEE, 2012) e Decreto-Lei n.º 80/2014 (ME, 2014).

O IPQ é o Organismo Nacional de Normalização e a Instituição Nacional de Metrologia, conforme referido anteriormente.

Tem como missão “a coordenação do Sistema Português da Qualidade (SPQ) e de outros sistemas de qualificação regulamentar que lhe forem conferidos por lei, a promoção e a coordenação de atividades que visem contribuir para demonstrar a credibilidade da ação dos agentes económicos, bem como o desenvolvimento das atividades necessárias à sua função de laboratório nacional de metrologia” (IPQ, 2019).

O IPQ tem como objetivo “assegurar a procura da qualidade de produtos e serviços para o aumento da qualidade de vida dos cidadãos, aumento da competitividade das atividades económicas num contexto de progressiva liberdade de circulação de bens” (IPQ, 2019).

A estrutura do IPQ é apresentada no organograma ilustrado na figura 2.10:

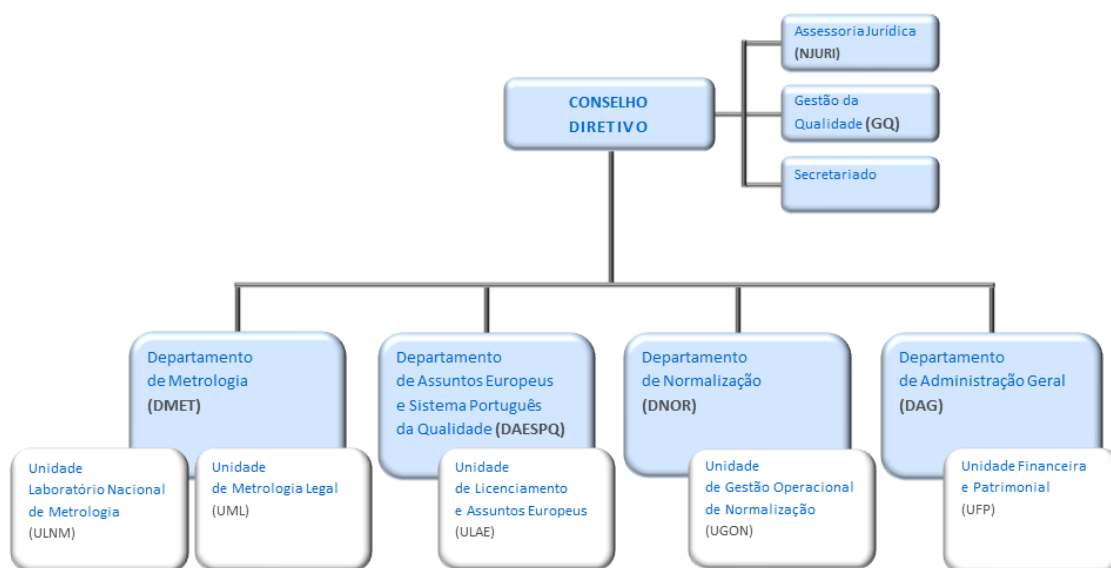


Figura 2.10 - Organograma do IPQ (IPQ, 2019)

À unidade de Metrologia Legal, departamento onde se enquadra a presente dissertação, compete “elaborar legislação metrológica e promover a sua aplicação, aprovar modelos de instrumentos de medição, qualificar e acompanhar entidades para a realização de operações de controlo metrológico e realizar ações de formação na área de controlo metrológico” (IPQ). Compete ao departamento de metrologia “garantir o rigor e a exatidão das medições realizadas, assegurando a sua comparabilidade e rastreabilidade, a nível nacional e internacional, e a realização, manutenção e desenvolvimento dos padrões das unidades de medida” (IPQ).

O IPQ tem acordos com outras organizações relativamente à regulação e coordenação das diversas categorias de metrologia a nível internacional, designadamente com:

- O BIPM e o ILAC, *International Laboratory Accreditation Cooperation* em matérias referentes a metrologia científica;
- A OIML e o WELMEC, *European Cooperation in Legal Metrology*, no que concerne a metrologia legal;
- A EURAMET, *European Association of National Metrology Institutes* e EA, *European co-operation for Accreditation*, para a acreditação de laboratórios.





### **3. Metrologia atual de reservatórios de armazenamento fixo**

Os reservatórios de armazenamento fixo são parte constituinte e integrante das infraestruturas e operações em diversos sectores e indústrias, tais como química e petroquímica, farmacêutica, alimentar, bebidas, agrícola, saneamento e recursos hídricos e energia nuclear.

Os reservatórios desenhados e construídos têm o intuito de conter sólidos, líquidos orgânicos e inorgânicos ou gases.

A escolha do tipo de reservatório a utilizar é determinada pelo tipo de material que contém.

Os reservatórios de armazenamento de instalação fixa referem-se especificamente a reservatórios que armazenam líquidos, à pressão atmosférica ou sob pressão, utilizados para a medida de quantidades (volume ou massa) do líquido contido a diferentes alturas.

#### **3.1. Introdução a reservatórios de armazenamento fixo**

Os reservatórios de armazenamento fixo encontram-se regulamentados através da Portaria n.º 1541/2007 (MEI, 2007) de acordo com o indicado na recomendação OIML R 71:2008 (OIML, 2008).

Os reservatórios especificamente regulamentados pela Portaria n.º 1541/2007 (MEI, 2007) são de tipo:

- a) Cilíndrico vertical;
- b) Cilíndrico horizontal ou inclinado;
- c) Esférico ou esferoidal.

Os reservatórios podem ser classificados conforme a sua forma, posição em referência ao solo, os meios utilizados para medir os níveis de volume de líquido contido e ainda com referência à temperatura e pressão a que estão sujeitos (OIML, 2008).

As formas mais comuns dos tipos de reservatórios fixos, representadas nas figuras 3.1 - 3.4, são:

- Cilíndricos, com eixo vertical ou horizontal, e fundos ou tetos planos, cónicos, hemisféricos ou elípticos (ver figura 3.1, 3.2 e 3.4);
- Esféricos ou esferoidais (ver figura 3.3);
- Paralelepípedicos.

Os reservatórios cilíndricos verticais podem ter o teto fixo ou teto flutuante.



Figura 3.1 - Reservatório Cilíndrico Vertical de teto flutuante (ORCA Pennel & Flipo, 2019)



Figura 3.2 - Reservatório Cilíndrico Vertical de teto fixo (STI/SPFA, 2018)



Figura 3.3 - Reservatório Esférico (STI/SPFA, 2018)

A posição dos reservatórios com referência ao solo podem ser:

- Sobre o solo;
- Parcialmente abaixo do solo;
- Abaixo do solo;
- Acima do solo



Figura 3.4 - Reservatório Cilíndrico Horizontal abaixo do solo (Brighton, P., 2015)

Os meios utilizados para medir os níveis de volume de líquido contido, representados nas figuras 3.5 -3.9, podem ser:

- Uma única marca de graduação;
- Um instrumento de medida;
- Com uma escala graduada (com uma janela ou um medidor externo), figura 3.5; 3.9;
- Uma régua graduada, uma fita graduada (medição manual), figura 3.5, 3.6;
- Um medidor de nível automático (medição automática), figura 3.8.



Figura 3.5 - Fita graduada (Hartwig, 2019)



Figura 3.6 - Escala graduada (Kabir instruments & technology, 2019)



Figura 3.7 - Régua graduada (Walltech India, 2019)



Figura 3.8 - Medidor de nível automático e painel (John M. Ellsworth, 2019)



Figura 3.9 - Medidor de nível externo (Emerson, 2019)

Os dispositivos de medição utilizados nos reservatórios estão sujeitos ao controlo metrológico (MEI, 2007).

Os reservatórios onde a quantidade de líquido é determinada por uma régua graduada ou fita graduada ou um medidor de nível automático devem vir acompanhados por uma tabela de calibração ou tabela volumétrica (OIML, 2008).

Com referência à temperatura e pressão, os reservatórios podem estar (OIML, 2008):

- À pressão ambiente;
- A baixa pressão (<100 KPa);
- A alta pressão (> 100 KPa);
- Sem aquecimento;
- Com aquecimento sem isolamento térmico;
- Com aquecimento e isolamento térmico;
- Com refrigeração e isolamento térmico.

De acordo com a recomendação OIML R 71:2008, os reservatórios de armazenamento fixo devem corresponder a diversas características técnicas na sua construção e estrutura.

Estes devem ser construídos de acordo com práticas de engenharia e devem obedecer aos requisitos legais para armazenamento de líquidos conforme as características dos mesmos, quer sejam potáveis, petróleo, químicos, etc.

Os reservatórios podem vir acompanhados de aparelhos que permitam reduzir as perdas por evaporação do líquido e a sua instalação e uso não deve ocasionar erros de medição, como ilustrado na figura 3.10.



Figura 3.10 - Válvulas de ventilação e corta-fogo (Joseph, M., 2019)

Com o intuito de assegurar a exatidão das medidas de volume de líquido cuja transferência do conteúdo dos reservatórios incorra em transação econômica, os reservatórios devem ter em conta que:

- A forma e o material da construção e a montagem devem permitir que o reservatório seja resistente aos efeitos atmosféricos e ao líquido contido e que em condições normais de uso não sofra deformações que possam afetar a capacidade do reservatório.
- Para que se possam efetuar medições de volumes (quantidades) de líquido contido, os reservatórios devem estar equipados com dispositivos de referência (orifício e placa de

sondagem), indicadores automáticos de nível e orifícios para a colocação de sondas, para a medição da massa volumétrica e da temperatura e para a recolha de amostras (Portaria n.º 1541/2007), estando estas sondas ilustradas nas figuras 3.11 e 3.12.



Figura 3.11 - Sensor de temperatura (Emerson, 2019)



Figura 3.12 - Sensor de Pressão (Emerson, 2019)

- O ponto de referência da chapa do batente e o ponto de referência superior devem ser construídos numa posição que permaneça estável para minimizar o impacto do enchimento e esvaziamento do reservatório e as variações do processo e condições ambientais.
- A forma do reservatório deve evitar a formação de bolsas de ar durante o enchimento e de bolsas de líquido após a drenagem.
- Os reservatórios devem assegurar que as suas fundações são estáveis após um período de estabilização com o reservatório cheio, para que a sua base não varie de forma acentuada ao longo do tempo.
- Uma chapa do batente não é requerida no reservatório quando o fundo do reservatório é suficientemente estável e não existe risco de sedimentação neste.

Denomina-se lastro positivo ou negativo o posicionamento de estruturas e tubagens que afeta a capacidade do reservatório, acrescentando ou diminuindo a capacidade efetiva do reservatório, respetivamente.

Exemplos da posição dos orifícios e da construção dos pontos de referência são exemplificados na figura 3.13.

1 – Corpo (invólucro); 2 – Fundo do reservatório; 3 – Teto; 4 – Boca de visita; 5 – Válvula de enchimento; 6 – Válvula de esvaziamento; 7 – Válvula de drenagem; 8 – Boca de medição; 9 – Tubo guia; 10 – Abertura do tubo guia; 11 – Tampa do tubo guia; 12 – Escada de acesso, com protetor; 13 – Plataforma de chapa do batente; 14 – Chapa do batente; 15 – Cantoneira de ferro superior; 16 – Cantoneira de ferro inferior; 17 – Placa da tabela de calibração; 18 – Abertura; 19 – Vertical de medição; 20 – Serpentina de/aquecimento; PRS – Ponto de referência superior; PRI – Ponto de referência inferior; H – Altura de referência; C – Espaço vazio; h – Nível do líquido no reservatório.

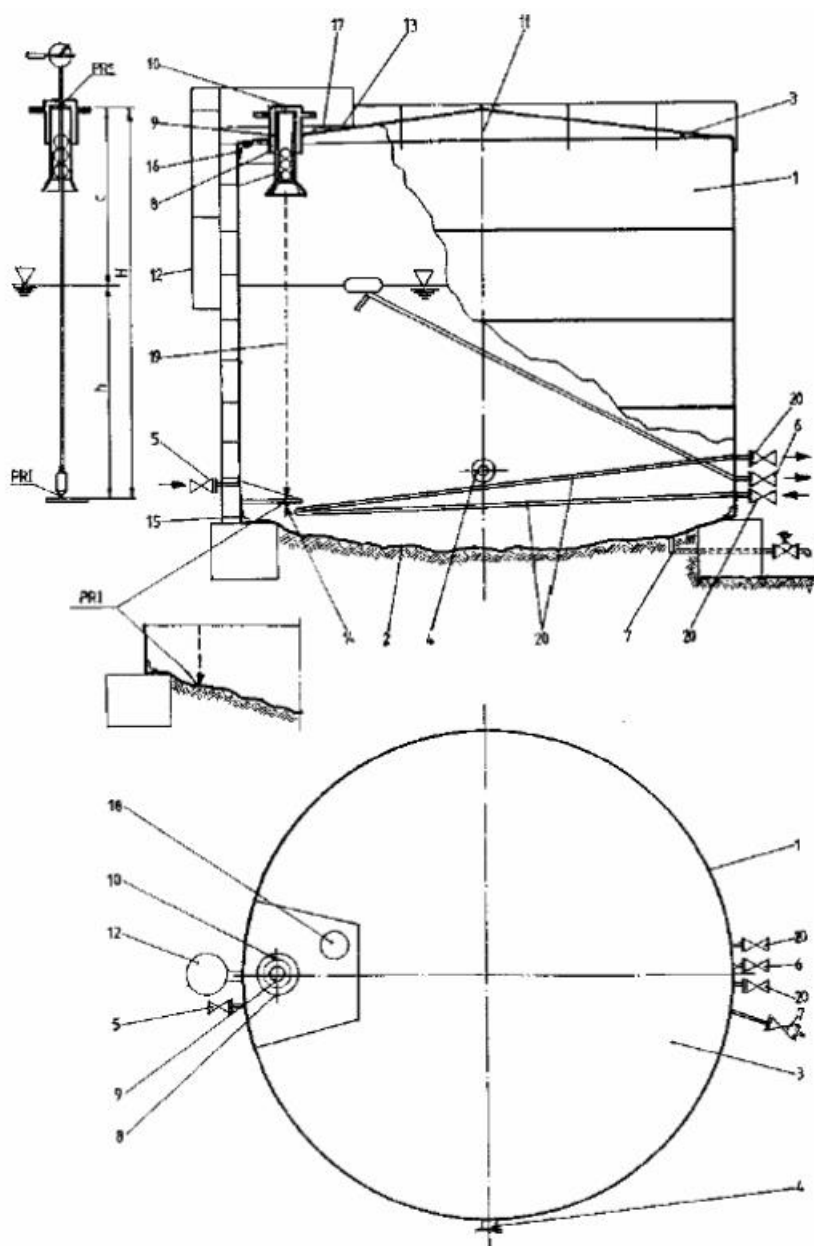


Figura 3.13 - Reservatório cilíndrico de teto fixo (OIML, 2008)

### **3.2. Normalização aplicada à metrologia dos reservatórios de armazenamento fixo**

A Portaria n.º 1541/2007 e a Portaria n.º 962/90 regulamentam procedimentos a que devem obedecer o controlo metrológico dos reservatórios de armazenamento de instalação fixa.

Sendo da competência do IPQ as seguintes operações:

a) Aprovação de modelo;

Inicialmente, é apresentado um pedido de aprovação acompanhado de memória descritiva, desenhos que especificam a constituição, materiais e dimensões, localização de corpos interiores, válvulas e condutas de enchimento e esvaziamento, construção, montagem, método de fixação ao solo, funcionamento, nomeadamente dos dispositivos de segurança, dispositivos de referência e zona de punção ou selagem, instalação do indicador de referência dos níveis de líquidos, regulação e afinação, desenho de chapa de identificação e local previsto para a colocação dos símbolos de controlo metrológico.

A aprovação do modelo é realizada antes e depois da instalação do reservatório através da realização de estudos e ensaios para a verificação das características dos materiais e metrológicas.

Após a aprovação de modelo é emitido um Despacho em Diário da República, pressupondo uma marcação colocada pelo fabricante ou importador em todos os reservatórios do mesmo modelo em local previamente estabelecido do reservatório, a marcação é acompanhada dos dois últimos dígitos do ano de aprovação e de um número característico estabelecido pelo IPQ, de acordo com a simbologia descrita na Portaria n.º 962/90.

b) Primeira verificação;

A primeira verificação é efetuada no local da instalação e montagem do reservatório com o mesmo em uso e de acordo com procedimentos normalizados para a verificação metrológica dos reservatórios.

Nesta verificação, é determinada a capacidade do reservatório a diferentes alturas, que servirão para construir a tabela volumétrica, tabela onde é expressa a fórmula

matemática do Volume em função da Altura específica para os reservatórios, de acordo com as condições de referência.

Após elaboração da tabela volumétrica, verifica-se se os valores dos erros/incerteza máxima admissível dos valores da tabela volumétrica se encontram dentro dos seguintes valores:

- $\pm 0,2\%$  para os reservatórios cilíndricos verticais
- $\pm 0,3\%$  para os reservatórios cilíndricos horizontais ou inclinados
- $\pm 0,5\%$  para os reservatórios esféricos ou esferoidais

De seguida, é emitido o certificado de verificação determinando a aprovação ou não aprovação do reservatório.

No certificado de verificação, consta, de acordo com a Portaria n.º 1541/2007:

- Altura total de referência;
- Altura máxima de enchimento;
- Número do certificado de verificação;
- Desenho em corte, do reservatório, com a indicação dos diâmetros, das espessuras de chapa, posições do orifício e da placa de sondagem, bem como dos orifícios para a colocação das sondas e para recolha de amostras;
- Tipo de indicadores de referência automática dos níveis dos líquidos;
- Capacidade nominal;
- Volume mínimo mensurável;
- Indicação da pressão máxima, quando for caso disso;
- Tabela volumétrica (sondagens) por intervalos de alturas, com a indicação dos coeficientes volumétricos;
- Temperatura a que foram determinados os valores das tabelas, de acordo com os produtos de enchimento;
- Nome da entidade que efetuou o controlo metrológico;
- Indicação dos valores limite da massa volúmica;
- Valores das deformações no reservatório, por virola;
- Método utilizado na determinação dos valores das tabelas volumétricas;
- Incerteza com que foram determinados os valores das tabelas volumétricas;
- Indicação das correções relativas às variações de:  
Mergulhamento do teto, ecrã flutuante ou outro equipamento que eventualmente tenha influência;



- Pressão e temperatura;
- Valores limite da massa volúmica;
- Data do certificado de verificação e do limite de validade.

O prazo de validade da primeira verificação após a instalação é de 10 anos a partir da data da emissão do certificado respetivo. No acaso de ocorrer uma reparação e ser efetuada uma primeira verificação após a reparação o prazo de validade, é de 8 anos a partir da data da emissão do certificado respetivo.

c) Verificação periódica;

A verificação periódica sucede após o término do certificado de verificação da primeira verificação e tem o prazo de validade de 8 anos após data de emissão do certificado de verificação periódica.

d) Verificação extraordinária.

A verificação extraordinária compreende os ensaios da verificação periódica e tem a mesma validade de 8 anos.

Após a avaliação de conformidade das operações descritas, é colocado os símbolos respetivos a cada operação, conforme a Portaria nº962/90, nos reservatórios avaliados.

### **3.3. Procedimentos normalizados para a verificação metrológica dos reservatórios**

A calibração dos reservatórios é realizada de acordo com procedimentos normalizados segundo métodos geométricos (ótico, cintas), volumétricos ou uma combinação de ambos.

A escolha dos procedimentos a utilizar é imposta pela capacidade nominal do reservatório, forma, posição e condições de uso.

Os procedimentos e métodos usados na calibração dos reservatórios (cilíndricos verticais e horizontais) e das tabelas de calibração são definidas de acordo com as seguintes normas ISO:

- ISO 4512:2000 - *Petroleum and liquid petroleum products - Equipment for measurement of liquid levels in storage tanks - Manual methods* (ISO, 2000);

- ISO 4269:2001 - *Petroleum and liquid petroleum products - Tank calibration by liquid measurement - Incremental method using volumetric meters* (ISO, 2001);
- Série ISO 7507:2003 - *Petroleum and liquid petroleum products - Calibration of vertical cylindrical tanks - Part 1: Strapping method, - Part 2: Optical-reference-line method, - Part 3: Optical-triangulation method, - Part 4: Internal electro-optical distance-ranging method, - Part 5: External electro-optical distance-ranging method* (ISO, 2003);
- Série ISO 12917:2017 - *Petroleum and liquid petroleum products - Calibration of horizontal cylindrical tanks - Part 1: Manual methods, - Part 2: Internal electro-optical distance-ranging method* (ISO, 2017).

Os métodos geométricos consistem na medição externa ou interna das dimensões do reservatório, do lastro e do teto flutuante, que correspondem às Normas da série ISO 4512, 7507 e 12917.

De notar que para medições internas do reservatório não são geralmente admitidas medições manuais, com fita graduada se não existirem melhores métodos, por exemplo no caso da medição de reservatórios com isolamento térmico (OIML, 2008).

Os métodos geométricos podem ser usados em reservatórios com capacidade nominal de 50 m<sup>3</sup> ou superior que não apresentem sinais de deformação e tenham uma forma regular de acordo com a OIML R71.

Os métodos volumétricos consistem em indicar diretamente a capacidade interna do reservatório ao medir volumes de líquido não volátil, como a água, que são sucessivamente introduzidos ou retirados do reservatório conforme procedimento padrão da ISO 4269.

Os métodos volumétricos são usados em qualquer tipo de reservatórios abaixo do solo, em reservatórios sobre o solo ou acima do solo com capacidade nominal até 100 m<sup>3</sup> e reservatórios cujos métodos geométricos não sejam aptos para o efeito conforme OIML 71. A combinação de métodos resume-se a estabelecer por meio dos métodos geométricos os volumes do corpo do reservatório e através de métodos volumétricos o volume do fundo do reservatório.

Este método é aplicado em reservatórios em que a parte inferior do reservatório, devido à sua forma ou devido ao lastro, não permite que o seu volume seja determinado com exatidão através dos métodos geométricos.

Os fatores que mais influenciam a calibração dos reservatórios são a pressão (referência de 101,325 kPa), pressão hidroestática, que pode alterar o volume aparente através da deformação

do corpo do reservatório, e a temperatura, cuja diferença da temperatura de referência (15°C) altera o volume por expansão ou contração do corpo do reservatório. As condições de referência indicadas referem-se a crude de petróleo e os seus derivados, excluindo o gás natural.

Algumas normas também utilizadas na verificação metrológica de reservatórios são as desenvolvidas pelo *American Petroleum Institute* (API) e:

- API 2550 - *Measurement and Calibration of Upright Cylindrical Tanks* (API, 1965)
- API 2551 - *Measurement and Calibration of Horizontal Tanks* (API, 1965)
- API 2552 - *Measurement and Calibration of Spheres and Spheroids* (API, 1966)
- API 2555 - *Liquid Calibration of Tanks* (API, 1966)

### **3.3.1. Tabelas volumétricas**

Como indicado, a calibração dos reservatórios é realizada de acordo com procedimentos normalizados segundo métodos geométricos, volumétricos ou uma combinação de ambos com o intuito de determinar as tabelas volumétricas.

As tabelas volumétricas determinam com base no nível de altura do líquido contido no reservatório de armazenamento a quantidade de volume do líquido.

A elaboração da tabela volumétrica (ou de sondagem) é determinada com base nas indicações dos instrumentos utilizados de acordo com os procedimentos de medição normalizados. Após obtidos os resultados das medições efetuadas, os mesmos são usados para o cálculo do volume da tabela volumétrica, de acordo com fórmulas matemáticas complexas referenciadas na norma ISO 7507-1:2003.

A formulação matemática que permite determinar o volume contido num reservatório de armazenamento fixo é realizada através de uma conjunção de operações matemáticas, tendo em conta fórmulas de cálculo estipuladas para diferentes fatores que condicionam a exatidão da quantidade de volume obtida como resultado.

São estipuladas fórmulas que tentam amenizar erros no procedimento de medição ou da própria estrutura do reservatório e condições ambientais aquando da medição do reservatório que afetem o resultado da tabela volumétrica.

Através de fórmulas introduzidas dos fatores, tais como, correções a circunferências externas e internas medidas, correções nas deslocações da fita graduada, correções da expansão térmica da fita e do corpo do reservatório, conforme temperatura de referência, correção da inclinação do reservatório, cálculo do volume do lastro, cálculo do volume do fundo do reservatório, medido

de acordo com o procedimento normalizado, cálculo do volume de líquido deslocado pelo teto flutuante do reservatório, medido de acordo com procedimento normalizado, determinação da temperatura do reservatório, correção de temperatura de válvulas, correção de expansão do líquido devido à temperatura e correção ao volume conforme temperatura standard para que o resultado obtido do volume seja o mais exato quanto possível.

Nos métodos volumétricos são utilizados como fatores de correção dos efeitos térmicos, correção de volume conforme o líquido usado para a calibração, correção do corpo do reservatório, correção na fita graduada para o cálculo da tabela volumétrica.

Os cálculos e fórmulas da expressão das incertezas proveniente dos dados usados para os cálculos matemáticos da tabela volumétrica seguem as linhas diretivas do Guia para a Expressão de Incerteza na Medição, GUM, publicado pelo BIPM (JCGM 100:2008).

A verificação dos reservatórios de armazenamento fixo pressupõe a emissão de um certificado de verificação e que as tabelas calculadas são precisas do ponto de vista matemático.

## 4. Análise dos dados dos reservatórios de teto flutuante

Conforme indicado na metodologia, este capítulo é referente à representação estruturada dos dados dos boletins de verificação dos reservatórios de teto flutuante da amostra e o tratamento analítico que foi abordado dos valores das tabelas de sondagem, a sua discussão, interpretação e ilações retiradas através da análise gráfica e estatística dos mesmos.

### 4.1. Identificação e caracterização da amostra dos reservatórios de teto flutuante

Os dados correspondem aos valores da tabela de sondagem dos certificados de verificação metrológica dos reservatórios da amostra, que se encontram nos Anexos I, II, III, IV.

Aos dados da amostra correspondem os valores da tabela de sondagem de dois boletins de verificação de dois reservatórios cilíndrico verticais de teto flutuante, que se encontram num local não identificado, como indicado na tabela 4.1:

Tabela 4.1 - Quadro de anexos dos reservatórios de teto flutuante

Local	Reservatório	Data de Verificação	Anexo
Entidade C	T2014	2010 e 2018	I, II
	T2015	2010 e 2018	III, IV

O método utilizado para as medições do fundo (volume abaixo do zero de sondagem) e corpo físico dos reservatórios foi conseguido através do método físico e ótico exterior respetivamente, utilizando como documentos de referência a Portaria nº 1541/2007 (MEI, 2007), OIML R71 (OIML, 2008). As operações de medição foram realizadas pelo mesmo técnico especializado designado como TEC F, tendo sido utilizados os seguintes instrumentos de medição e seus graus de exatidão., como indicado na tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Quadro de instrumentos de medição reservatórios de teto flutuante

Local	Reservatório	Instrumentos de medição	Grau de exatidão
Entidade C	T2014 e T2015	Fita métrica	0,2/1000
		Nível ótico	± 1,0 mm
		Medidor de espessuras	± 0,1 mm
		Teodolito	± 6,0 mg
		Medidor de espessuras	± 0,2 mm
		Teodolito	0,2/1000

As condições do ensaio foram as ilustradas na tabela 4.3:

Tabela 4.3 - Quadro das condições de ensaio dos reservatórios de teto flutuante

Local	Reservatório	Condições de ensaio	Valor
Entidade C	T2014 e T2015	Temperatura de serviço	20° C
		Massa volúmica	0,8 kg/ dm <sup>3</sup>
		Produto	Gasóleo

Todos os reservatórios tinham a chapa de sondagem fixa na 1ª virola e indicador de nível automático.

Todos os certificados de verificação da amostra tinham como resultado que a exatidão da tabela volumétrica ou a tabela de sondagem têm como exatidão 2/1000, conforme estipulado na Portaria 1541/2007.

Os reservatórios evidenciavam as características apresentadas na tabela 4.4:

Que são o local do reservatório, a designação do reservatório, as características estruturais (teto, tipo de fundo, chapa do batente, tubo de espuma, drenagem, sondas, indicador de nível e volume nominal) e o número e altura das virolas.

Tabela 4.4 - Quadro das caraterísticas dos reservatórios de teto flutuante

Local	Reservatório	Característica	Tipo/Presença	Virolas	Altura (mm)
Entidade C	T2014 e T2015	Teto	Fixo + Flutuante	1ª	2510
		Tipo de Fundo	Plano		
		Chapa Batente	Fixa 1ª Virola	2ª	2505
		Tubo de Espuma	Sim		
		Drenagem	Sim		
		Sonda Termométrica	Sim	3ª	1540
		Sonda de Massa Volúmica	Sim		
		Indicador de Nível	Automático		
			Volume nominal (dm³)	240 000	

Os pontos de referência dos reservatórios de teto flutuante são os ilustrados na tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Pontos de referência dos reservatórios de teto flutuante

Local	Reservatório	Pontos de referência	Altura (mm)
Entidade C	T2014 e T2015	Altura de referência (Hr)	7144
		Altura de Sondagem (Hs) T2014	5719
		Altura de Sondagem (Hs) T2015	5737
		Altura útil (Hu)	5850
		Altura total (Ht)	6555
		Altura chapa batente (Hcb) T2014	131
		Altura chapa batente (Hcb) T2015	113

#### 4.2. Metodologia de análise de dados das tabelas de sondagem

A metodologia de análise de dados foi realizada com recurso ao software JMP *student edition* 14 da SAS e consiste em:

- Elaboração de um gráfico de capacidade por altura de sondagem para as diferentes verificações dos reservatórios da amostra e subseqüentes estatísticas sumárias;
- Comparação da capacidade entre verificações e a sua reta de regressão linear dos reservatórios da amostra;
- Gráfico de variação absoluta de capacidade entre verificações por altura de sondagem para os diferentes reservatórios e as suas estatísticas;
- Histograma da variação absoluta da capacidade entre verificações para os reservatórios e ajustamento à distribuição normal da variação absoluta da capacidade e elaboração de um teste Kolmogorov-Smirnov para os diferentes reservatórios;
- Elaboração de um gráfico de variação relativa percentual da capacidade entre verificações por altura de sondagem dos reservatórios e suas estatísticas;
- Histograma de variação relativa percentual da capacidade entre verificações dos reservatórios e suas estatísticas e ajustamento à distribuição normal das variações de capacidade e teste Kolmogorov-Smirnov para os diferentes reservatórios;

- Elaboração de gráfico Bland-Altman da variação absoluta e variação relativa da capacidade entre verificações dos reservatórios.

#### 4.2.1. Capacidade dos reservatórios de teto flutuante

Nas figuras 4.1 e 4.2, são apresentados os gráficos de capacidade do reservatório T2014 por altura de sondagem na verificação de 2010 e 2018 respectivamente.

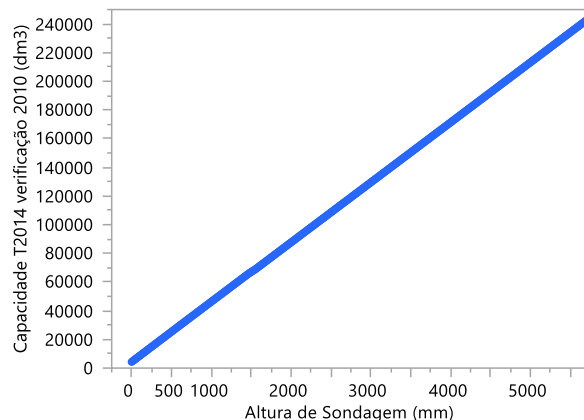


Figura 4.1 - Gráfico de Capacidade de T2014 verificação 2010

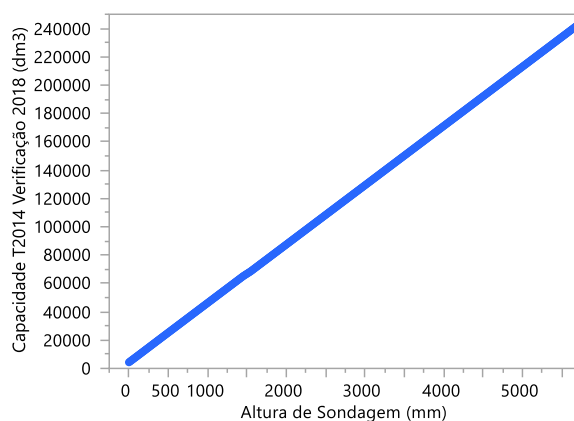


Figura 4.2 - Gráfico de capacidade de T2014 verificação

Verifica-se que a capacidade, ou quantidade de líquido contida no reservatório acima da chapa do batente explicitado nas figuras 4.1 e 4.2, corresponde aos intervalos com as seguintes características:

- Intervalo de altura de sondagem: [0; 5720] mm;
- Capacidade do Reservatório T2014 verificação 2010: [4298; 243220] dm<sup>3</sup> (ver figura 4.1);
- Capacidade do Reservatório T2014 verificação 2018: [4296; 243094] dm<sup>3</sup> (ver figura 4.2).



Podemos constatar que existe uma variação absoluta de capacidade entre as verificações (de acordo com o mesmo método de verificação) de  $2 \text{ dm}^3$  no início e de  $126 \text{ dm}^3$  no fim da tabela de sondagem para o mesmo reservatório.

Os gráficos da figura 4.3 e 4.4 indicam a capacidade do reservatório T2015 por altura de sondagem na verificação de 2010 e 2018.

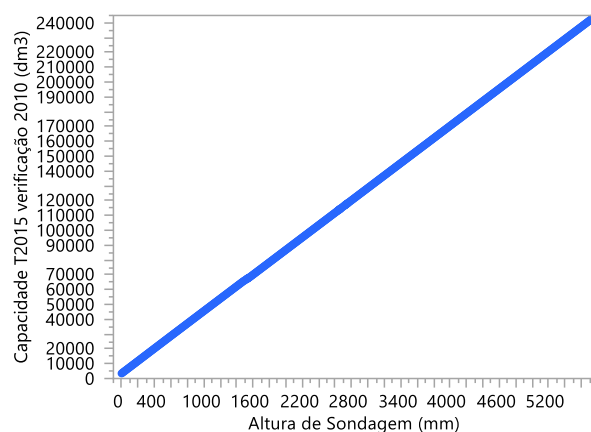


Figura 4.3 - Gráfico de Capacidade de T2015 verificação 2010

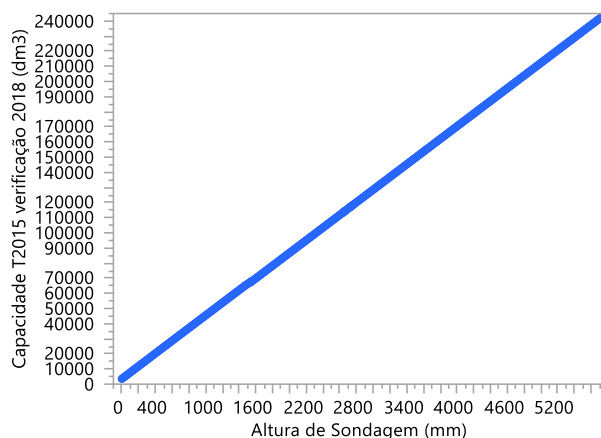


Figura 4.4 - Gráfico de Capacidade de T2015 verificação 2018

A capacidade do reservatório acima da chapa do batente, explicitado nas figuras 4.3 e 4.4, corresponde aos intervalos com as seguintes características:

- Intervalo de altura de sondagem:  $[0; 5738] \text{ mm}$ ;
- Capacidade do Reservatório T2015 verificação 2010:  $[3452; 243173] \text{ dm}^3$  (ver figura 4.3);
- Capacidade do Reservatório T2015 verificação 2018:  $[3479; 243193] \text{ dm}^3$  (ver figura 4.4).

Existe uma variação absoluta de capacidade entre verificações de  $27 \text{ dm}^3$  no início e de  $20 \text{ dm}^3$  no fim da tabela de sondagem para o reservatório T2015.

Na tabela 4.6, são indicados os valores de correlação e covariância entre a capacidade e altura de sondagem na verificação de 2010 e verificação de 2018 dos reservatórios T2014 e T2015.

Tabela 4.6 - Estatística sumária dos reservatórios de teto flutuante

Reservatório	T2014		T2015	
verificação	2010	2018	2010	2018
Correlação	0,99	0,99	0,99	0,99
Covariância	1,13	1,13	1,14	1,14
N	5719	5719	5738	5738

N – Altura de sondagem

Através da estatística sumária obtida através dos dados representados graficamente, podemos verificar que a capacidade do reservatório está diretamente correlacionada com a altura de sondagem (representada por N) ou altura do reservatório e que, de acordo com a covariância, esta relação ocorre no sentido crescente, ou seja, quanto maior a altura do reservatório, maior o aumento da sua capacidade.

#### 4.2.2. Comparação de capacidade dos reservatórios de teto flutuante

O gráfico de comparação de capacidade nas verificações de 2010 e 2018 do reservatório T2014 é representado na figura 4.5.

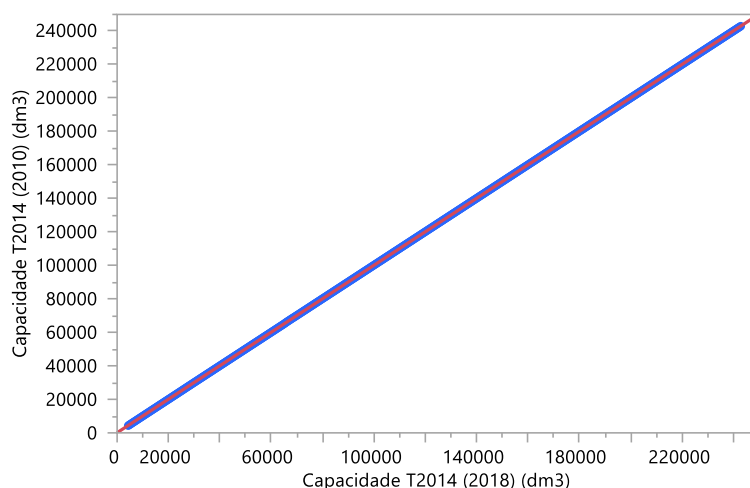


Figura 4.5 - Gráfico de comparação capacidade reservatório T2014

Com recurso ao software JMP *student edition* 14, foi efetuada uma regressão linear, que é representada pela equação 1:

Equação 1:  $y = 110,72 + 1 \cdot x$

y = capacidade 2010

x = capacidade 2018

Erro quadrático médio - 38,88

É nos indicado, através da equação da reta, o ajustamento da capacidade entre as verificações. Verificou-se que existe uma relação linear da capacidade entre verificações do reservatório e que os valores de capacidade obtidos diferem em média 38,88 dm<sup>3</sup> à reta. A reta corresponde aos valores da capacidade estimados para a verificação de 2010 com base na verificação de 2018, representa o caso em que a capacidade estimada tem um valor de capacidade ajustado de acordo com os desvios quadráticos médios.

Obteve-se, como referido, um valor médio dos desvios à reta ajustada de 38,88 dm<sup>3</sup> e um declive crescente que toma o valor 1, ocorrendo a intersecção da reta no eixo das ordenadas no ponto (0; 110,72).

O gráfico de comparação de capacidade nas verificações de 2010 e 2018 no reservatório T2015 é apresentado na figura 4.6.

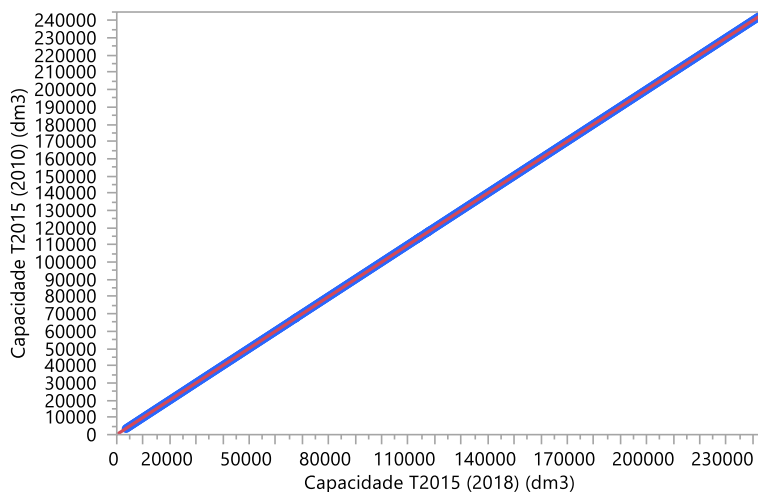


Figura 4.6 - Gráfico de comparação capacidade reservatório T2015

A Regressão linear da capacidade nas verificações de 2010 e 2018 é representada na equação 2:

Equação 2:  $y = 60,63 + 0,99 \cdot x$

y = capacidade 2010

x = capacidade 2018

Erro quadrático médio - 28,50

A equação da reta representa o ajustamento da capacidade entre as verificações. Verifica-se que existe uma relação linear entre as verificações do reservatório e que os valores de capacidade obtidos diferem em média  $28,50 \text{ dm}^3$  à reta, cujo declive é crescente e toma o valor 0,99, ocorrendo a intersecção da reta no eixo das ordenadas no ponto (0; 60,63).

O valor de correlação da capacidade na verificação de 2010 e 2018 para os reservatórios T2014 e T2015 é indicado na tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Correlação capacidade de verificações T2014 e T2015

Correlação - R	1
P-Value	0,001

Obteve-se o mesmo valor de correlação e estatística de teste para os gráficos das comparações de ambos os reservatórios. Podemos verificar que a comparação revelada pelo valor da correlação de capacidade entre as duas verificações tem o valor de 1 e o P-Value de 0,001, valor muito pequeno, que indica que existe uma forte relação entre os valores de ambas as verificações da capacidade do reservatório, o que seria de esperar, pois é referente ao mesmo reservatório.

#### 4.2.3. Variação absoluta de capacidade dos reservatórios de teto flutuante

A equação das diferenças de capacidade entre verificações ao longo da tabela de sondagem é representada na equação 3:

Equação 3: Variação absoluta de capacidade = capacidade 2018 - capacidade 2010

Podemos observar o comportamento da variação absoluta da capacidade dos reservatórios entre as verificações de 2010 e 2018 na figura 4.7 e 4.8 respetivamente. A figura 4.7 é referente ao reservatório T2014.

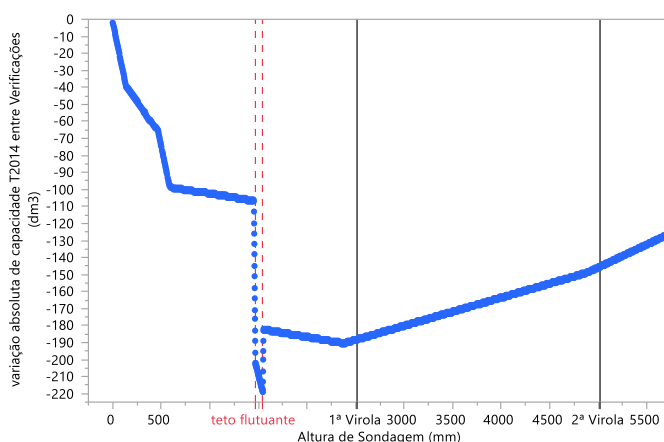


Figura 4.7 - Gráfico de variação absoluta da capacidade por altura de sondagem

Observamos um aumento da variação absoluta da capacidade no sentido decrescente (pois a variação toma um valor negativo) até à zona abaixo do teto flutuante, que dista 1454 mm acima da chapa do batente, onde ocorre uma variação de  $-107 \text{ dm}^3$ . Acima do teto flutuante, a tabela de sondagem prevê um aumento da variação de capacidade aproximadamente até ao fim da 1ª virola e, posteriormente, diminui a variação até ao topo da tabela de sondagem onde toma o valor de  $-126 \text{ dm}^3$ .

Na figura 4.8, é ilustrada a variação absoluta de capacidade por altura de sondagem do reservatório T2015.

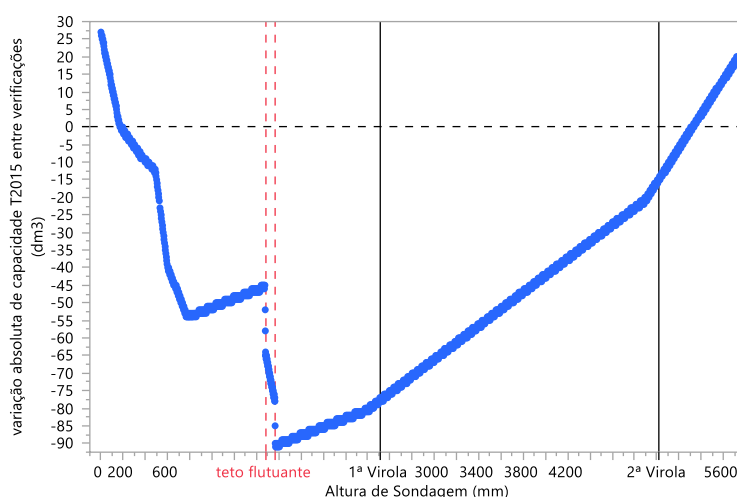


Figura 4.8 - Gráfico de variação absoluta de capacidade por altura de sondagem T2015

Observamos, inicialmente, uma diminuição (variação assume valores positivos) e, posteriormente, um aumento (variação assume valores negativos) da variação absoluta de capacidade no sentido crescente até à zona abaixo do teto flutuante, 1480 mm acima da chapa do batente, onde ocorre uma variação de  $-65 \text{ dm}^3$ . Acima do teto flutuante, a tabela de sondagem prevê uma diminuição da variação absoluta de capacidade aproximadamente até à 3ª virola (onde assume valores negativos) e, após assumir o valor nulo de diferença, aumenta (assumindo valores positivos) até ao topo da tabela de sondagem, onde toma o valor de  $20 \text{ dm}^3$ .

Foram obtidos os valores de correlação entre a variação absoluta de capacidade e altura de sondagem para os reservatórios T2014 e T2015 indicados na tabela 4.8 e as estatísticas referentes à média e desvio padrão da variação absoluta de capacidade na tabela 4.9.

Tabela 4.8 - Correlação de variação absoluta reservatórios de teto flutuante

Correlação T2014	-0,44
Correlação T2015	0,32

Observa-se que existe uma correlação no sentido decrescente entre as diferentes verificações através do valor de -0,44 e 0,32, determinando que não existe uma relação muito acentuada, mas que a mesma é significativa, entre a variação absoluta de capacidade com a altura de sondagem. Contudo, este valor de correlação poderá ser afetado pela influência do teto flutuante nos resultados das medições.

As estatísticas dos reservatórios de teto flutuante encontram-se representadas na tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Estatísticas dos reservatórios de teto flutuante

Variável	Média	Desvio Padrão
Variação absoluta T2014 entre Verificações (dm <sup>3</sup> )	-145,6	43,47
Variação absoluta T2015 entre Verificações (dm <sup>3</sup> )	-43,60	30,06

De acordo com o desvio padrão das diferenças entre verificações, ao longo da altura de sondagem, o valor da variação absoluta de capacidade dispersa 43,47 dm<sup>3</sup> em volta do valor da média de -145,6 dm<sup>3</sup>, para o reservatório T2014, conforme indicado no histograma da fig. 4.10, e dispersa 30,06 dm<sup>3</sup> em torno da média de -43,60 dm<sup>3</sup> para o reservatório T2015, conforme histograma da fig. 4.9. A variação absoluta significa que, em média, a capacidade medida em 2010 é maior em média 145,6 dm<sup>3</sup> do que a capacidade medida em 2018 para o reservatório T2014 e que a capacidade em 2010 é maior em média 43,60 dm<sup>3</sup> que a capacidade medida em 2018 para o reservatório T2015.

#### 4.2.4. Histograma de variação absoluta dos reservatórios de teto flutuante

Foram efetuados os histogramas dos valores da variação absoluta de capacidade dos reservatórios de teto flutuante que se encontram ilustrados nas figuras 4.9 e 4.10.

A figura 4.9 representa o histograma da variação absoluta de capacidade entre verificações do reservatório T2014 e a vermelho a hipótese de ajustamento à distribuição normal.

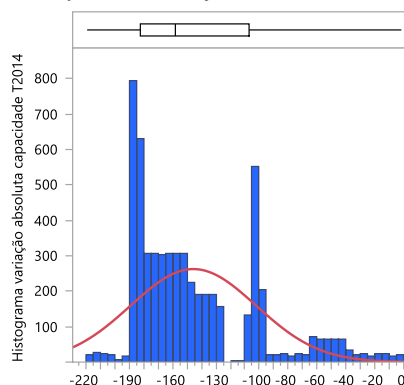


Figura 4.9 - Histograma variação absoluta de capacidade T2014

A tabela 4.10 representa a box-plot de ajustamento à Normal do reservatório T2014.

Tabela 4.10 – *Box-plot* de ajustamento da Normal T2014

100,0%	Máximo	-2
99,5%		-9
97,5%		-40
90,0%		-94
75,0%	quartil	-107
50,0%	mediana	-158
25,0%	quartil	-182
10,0%		-187
2,5%		-190
0,5%		-213
0,0%	Mínimo	-219

O Quadro *box-plot* na tabela 4.10 indica-nos os intervalos da contagem dos valores da variação absoluta (em  $\text{dm}^3$ ) observada entre as verificações.

No reservatório T2014, de acordo com a tabela 3, verifica-se que, ao longo da altura da sondagem, 50% das observações correspondem ao intervalo de valores  $[-2; -158[ \text{dm}^3$  e os outros 50% correspondem ao intervalo  $] -158; -219] \text{dm}^3$ , correspondendo o intervalo  $[-2; -219] \text{dm}^3$  ao conjunto total de observações, a 100%, dos valores da variação absoluta de capacidade obtidos entre as verificações.

O mínimo valor de variação absoluta observado foi de  $-2 \text{dm}^3$  e o máximo de  $-219 \text{dm}^3$ , os seus módulos correspondem a  $|2| \text{dm}^3$  ou  $|219| \text{dm}^3$ .

O quadro das estatísticas na tabela 4.11 indica que, o intervalo de confiança de 95% do valor da média corresponde ao intervalo de  $] -144,47; -146,72[ \text{dm}^3$ , e valor da média e do desvio padrão é de  $-145,6 \text{dm}^3$  e  $43,47 \text{dm}^3$  respetivamente.

A tabela 4.11 representa as estatísticas da variação absoluta obtidas para o reservatório T2014.

Tabela 4.11 - Estatísticas reservatório T2014

Média	-145,6
Desvio padrão	43,47
Desvio padrão médio	0,57
95% IC	-144,47
95% IC	-146,72
N	5719

Realizou-se um teste de ajustamento à distribuição Normal através do teste Kolmogorov-Smirnov, tendo como hipóteses  $H_0 = N(-145,6; 43,47)$  e  $H_1 \neq N(-145,6; 43,47)$ , onde se obteve como resultado a rejeição da hipótese  $H_0$ , indicando que não se trata de uma distribuição normal.

O histograma das diferenças obtidas para o reservatório T2014 tem um ajustamento à Normal  $(-145,6; 43,47)$  e está caracterizado de acordo com a *box-plot* representada na tabela 4.10 e as suas estatísticas na tabela 4.11.

O histograma de variação absoluta da capacidade entre verificações do T2015 é apresentado na figura 4.10

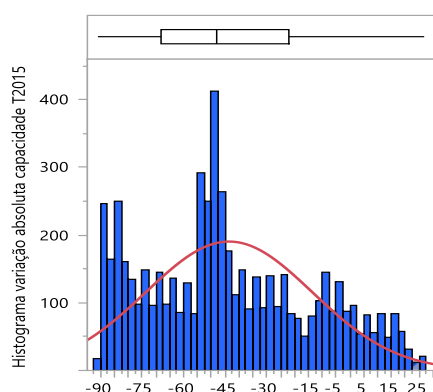


Figura 4.10 - Histograma variação absoluta de capacidade T2015

O histograma da variação absoluta do reservatório T2015 representado no gráfico 4.10 e a hipótese de ajustamento à normal, representado na linha vermelha, corresponde a  $N(-43,60; 30,06)$  e a sua *box-plot* é representada na tabela 4.12 e as estatísticas na tabela 4.13.

Tabela 4.12 - *Box-plot* de ajustamento da Normal T2015

100,0%	Máximo	27
99,5%		23
97,5%		16,525
90,0%		0
75,0%	quartil	-22
50,0%	mediana	-48
25,0%	quartil	-68
10,0%		-84
2,5%		-89
0,5%		-90
0,0%	Mínimo	-91

No reservatório T2015, de acordo com tabela 6, o intervalo de valores  $[-48; -91[ \text{ dm}^3$  corresponde a 50% das observações e os outros 50% correspondem ao intervalo  $] -48; 27] \text{ dm}^3$  em que o



intervalo  $[-91; 27]$   $\text{dm}^3$  representa o conjunto total de observações da variação absoluta de capacidade entre as verificações.

O mínimo valor de variação absoluta observado foi de  $-91 \text{ dm}^3$  e o máximo de  $27 \text{ dm}^3$ , os seus módulos correspondem a  $|27| \text{ dm}^3$  e  $|91| \text{ dm}^3$ .

O quadro das estatísticas da tabela 4.13 indica que, o intervalo de confiança de 95% do valor da média corresponde ao intervalo de  $]-44,38; -42,82[ \text{ dm}^3$  e o valor da média e desvio padrão é de  $-43,60 \text{ dm}^3$  e o desvio padrão de  $30,06 \text{ dm}^3$ .

Tabela 4.13 - Estatística variação absoluta reservatório T2015

Média	-43,60
Desvio padrão	30,06
Erro padrão	0,396
95% IC	-44,377
95% IC	-42,821
N	5738

O teste de ajustamento à distribuição Normal através do teste Kolmogorov-Smirnov tem como hipóteses  $H_0 = N(43,60; 30,06)$  e  $H_1 \neq N(43,60; 30,06)$  onde se obteve como resultado rejeição da hipótese  $H_0$ , indicando que não se trata de uma distribuição normal como se pode verificar pela representação gráfica da distribuição.

Através da representação gráfica das distribuições e dos resultados dos testes Kolmogorov-Smirnov (Pereira & Requeijo, 2012) poderemos assumir que se trata de distribuições não paramétricas, pois as mesmas não apresentam a forma de nenhuma distribuição conhecida e as Hipóteses  $H_0$  foram rejeitadas no teste de ajustamento à normal.

#### 4.2.5. Variação relativa percentual dos reservatórios de teto flutuante

Foi calculada a variação relativa percentual da capacidade dos reservatórios entre verificações através da Equação 4:

$$\text{Equação 4: Variação relativa percentual da capacidade} = \frac{(\text{Capacidade 2018} - \text{Capacidade 2010})}{\text{Capacidade 2010}} \times 100$$

Tendo sido representados os valores de variação da capacidade por a altura de sondagem dos reservatórios de teto flutuante nos gráficos 4.11 e 4.12

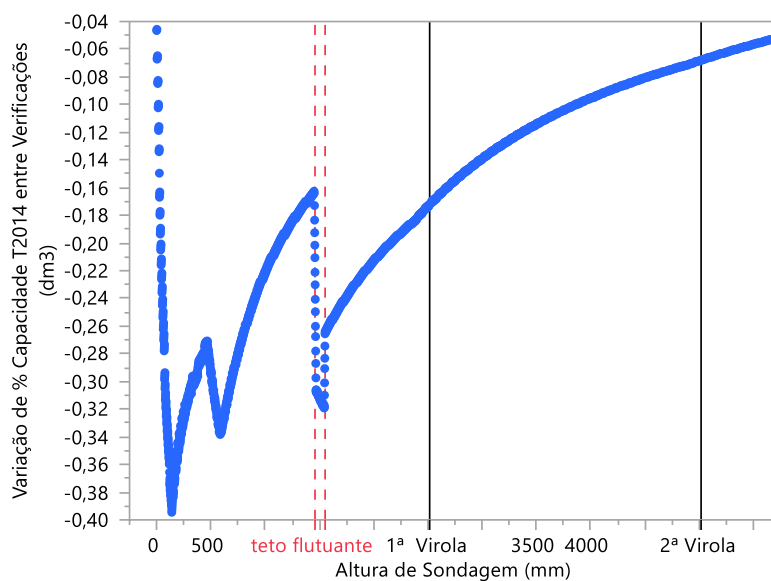


Figura 4.11 - Gráfico de variação relativa percentual da capacidade reservatório T2014

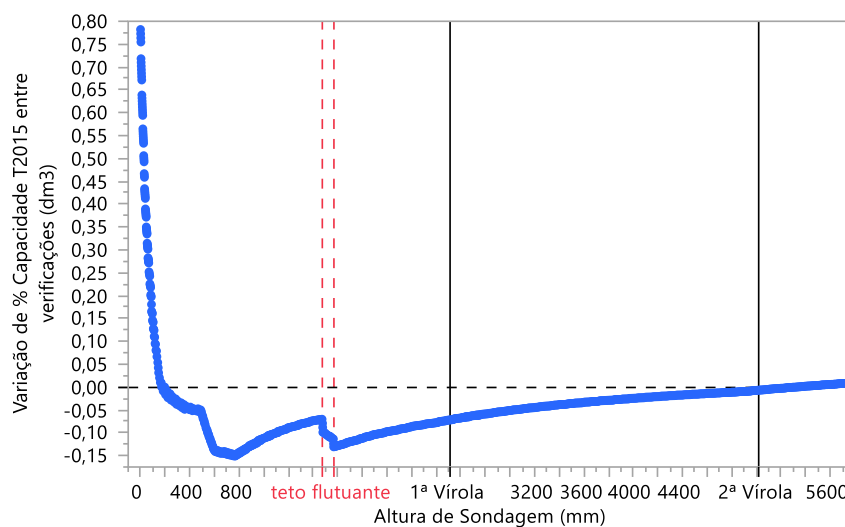


Figura 4.12 - Gráfico de variação relativa percentual da capacidade reservatório T2015

Observamos graficamente, comparando os gráfico 4.7 com o gráfico 4.11 e o gráfico 4.8 com o gráfico 4.12 que a variação da capacidade do reservatório entre as verificações de 2010 e 2018 tem um comportamento relacionado com a variação absoluta da capacidade, na relação de que, quando aumenta o declive da reta que traduz o comportamento da variação absoluta de capacidade por altura de sondagem, ocorre um aumento da variação relativa percentual da capacidade entre verificações e, quando o declive diminui, a variação relativa percentual de capacidade diminui.

Se se verificar um crescimento abrupto do declive da variação absoluta entre verificações ao longo da tabela de sondagem, a variação relativa percentual irá aumentar consoante esse

aumento do declive e, no caso de diminuir o declive da diferença ao longo da altura, a variação irá diminuir, sendo que o aumento máximo de variação relativa percentual ocorre quando o declive é 1 e o decréscimo máximo ocorre quando o declive é 0.

Apesar desta simples ilação gráfica, imiscuímo-nos de a representar e comprovar matematicamente.

Obteve-se como resultado os seguintes valores de máximo, mínimo, amplitude, média e desvio padrão da variação relativa percentual da capacidade entre verificações para os reservatórios de teto flutuante na tabela 4.14 e os valores da correlação entre a variação relativa percentual da capacidade entre verificações e a altura de sondagem na tabela 4.15.

Tabela 4.14 - Estatísticas da variação relativa % dos reservatórios de teto flutuante

	<b>N</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>	<b>Amp</b>	<b>Média</b>	<b>Desv padr</b>
Variação relativa % Capacidade T2014 entre verificações (dm <sup>3</sup> )	5720	-0,05	-0,39	0,35	-0,161	0,08
Variação relativa % Capacidade T2015 entre verificações (dm <sup>3</sup> )	5738	0,78	-0,15	0,93	-0,05	0,08

A variação percentual relativa indica que em média a capacidade diminui-o 0,16% desde a verificação de 2010 para a verificação de 2018 no reservatório T2014 e diminui-o a capacidade em 0,05% desde a verificação de 2010 para a verificação de 2018 no reservatório T2015.

Tabela 4.15 - Correlação de variação relativa % da capacidade e altura de sondagem

	<b>Valor</b>
Correlação T2014	0,93
Correlação T2015	0,23

Os valores de correlação indicam que existe uma relação acentuada entre a variação relativa percentual e a altura de sondagem no reservatório T2014 e uma relação pouco acentuada no reservatório T2015.

#### **4.2.6. Histograma de variação relativa dos reservatórios de teto flutuante**

Foram realizados os histogramas dos valores de variação relativa percentual da capacidade dos reservatórios de teto flutuante representados nas figuras 4.13 e 4.14.

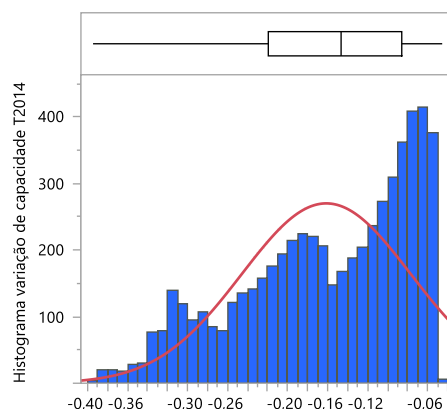


Figura 4.13 - Histograma variação capacidade reservatório T2014

Verifica-se que a hipótese à normal da distribuição da variação relativa percentual no reservatório T2014 é Normal(-0,16; 0,08) e está caracterizada de acordo com a *box-plot* representada na tabela 4.16 e as estatísticas na tabela 4.17.

Tabela 4.16 - *Box-plot* variação relativa percentual da capacidade T2014

100%	máximo	-0,045
99,5%		-0,052
97,5%		-0,054
90,0%		-0,064
75,0%	quartil	-0,086
50,0%	mediana	-0,146
25,0%	quartil	-0,219
10,0%		-0,295
2,5%		-0,335
0,5%		-0,377
0,0%	mínimo	-0,394

O Quadro da “box plot” do T2014 indica-nos os intervalos da contagem, ou observações, dos valores da variação relativa percentual da capacidade entre as verificações, sendo o valor da mediana -0,146% e, 50% das observações de valores encontram-se no intervalo [-0,045; -0,146[% e os outros 50% correspondem ao intervalo ]-0,146; -0,394%, onde 100% das observações pertencem ao intervalo [-0,045; -0,394]% que representa o conjunto total das variações relativas percentuais da capacidade obtidas.

O mínimo valor de variação relativa percentual observado foi de -0,045% e o máximo de -0,394%, o seu módulo corresponde a |0,045|% e |0,394|%.

Tabela 4.17 - Estatísticas de variação relativa percentual de capacidade T2014

Média	-0,161
Desvio Padrão	0,084
Erro padrão	0,001
95% IC	-0,159
95% IC	-0,163
N	5719

A tabela 4.17 indica que, o intervalo de confiança de 95% do valor da média corresponde ao intervalo de valores  $]-0,159; -0,163[$ %.

Realizou-se um teste de ajustamento à Normal através do teste Kolmogorov-Smirnov tendo como hipóteses  $H_0 = N(-0,16; 0,08)$  e  $H_1 \neq N(-0,16; 0,08)$ , onde se obteve como resultado a rejeição da hipótese  $H_0$ , indicando que não se trata de uma distribuição normal como se pode verificar pela representação gráfica da distribuição. A figura 4.14 ilustra o diagrama da variação relativa percentual da capacidade do T2015.

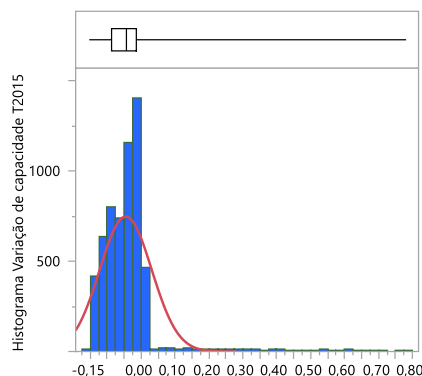


Figura 4.14 - Histograma variação relativa percentual capacidade reservatório T2015

A distribuição do reservatório T2015 tem como hipótese de ajustamento à Normal  $(-0,05; 0,08)$  e a sua *box-plot* representada na tabela 4.18 e as suas estatísticas na tabela 4.19.

Tabela 4.18 - *Box-plot* variação percentual relativa de capacidade T2015

100,0%	Máximo	0,782
99,5%		0,498
97,5%		0,052
90,0%		0
75,0%	quartil	-0,015
50,0%	mediana	-0,043
25,0%	quartil	-0,086
10,0%		-0,116
2,5%		-0,143
0,5%		-0,148
0,0%	Mínimo	-0,151

A “box plot” do reservatório T2015, representada na tabela 4.18, indica-nos que o valor da mediana é -0,043% e, 50% das observações de valores encontram-se no intervalo [-0,151; -0,043] e os outros 50% correspondem ao intervalo [-0,043; 0,782]%, onde 100% das observações pertencem ao intervalo [-0,151; 0,782]% que representa o conjunto total das variação relativa percentual de capacidade obtidas.

O mínimo valor de variação observado foi de -0,151% e o máximo de 0,782%, o seu módulo corresponde a |0,151| e |0,782|.

Tabela 4.19 - Estatísticas da variação relativa percentual de capacidade T2015

Média	-0,045
Desvio padrão	0,076
Erro padrão	0,001
95% IC	-0,043
95% IC	-0,047
N	5738

Se a distribuição fosse normal, de acordo com tabela 4.19, o intervalo de confiança de 95% do valor da média corresponde ao intervalo [-0,043; -0,047] %.

Realizou-se um teste de ajustamento à Normal através do teste Kolmogorov-Smirnov tendo como hipóteses  $H_0 = N(-0,16; 0,08)$  e  $H_1 \neq N(-0,045; 0,076)$ , onde se obteve como resultado que não se trata de uma distribuição normal.

Através da representação gráfica das distribuições e do teste de Kolmogorov-Smirnov, poderemos assumir que se trata de distribuições não paramétricas, pois as mesmas não apresentam a forma de uma distribuição normal, e nos testes de ajustamento rejeitou-se as hipóteses  $H_0$ .

#### **4.2.7. Acordo da capacidade e variação dos reservatórios de teto flutuante**

Construiu-se um gráfico de Bland-Altman e uma adaptação deste para verificarmos o acordo do valor da variação absoluta e variação relativa percentual de capacidade dos reservatórios de teto flutuante conforme valores de limites especificados de forma hipotética e, visto a distribuição não corresponder a uma distribuição normal, tomamos uma abordagem não paramétrica à análise do gráfico, conforme mencionado por Altman e O'brien et al.

Dessa forma, tomamos como valores de limite hipotéticos de acordo da variação absoluta de capacidade entre verificações  $\pm 0,2$  % da capacidade nominal dos reservatórios, que corresponde a -480 e 480 dm<sup>3</sup>.

Na figura 4.15, é representado o gráfico Bland-Altman da variação absoluta de capacidade do reservatório T2014.

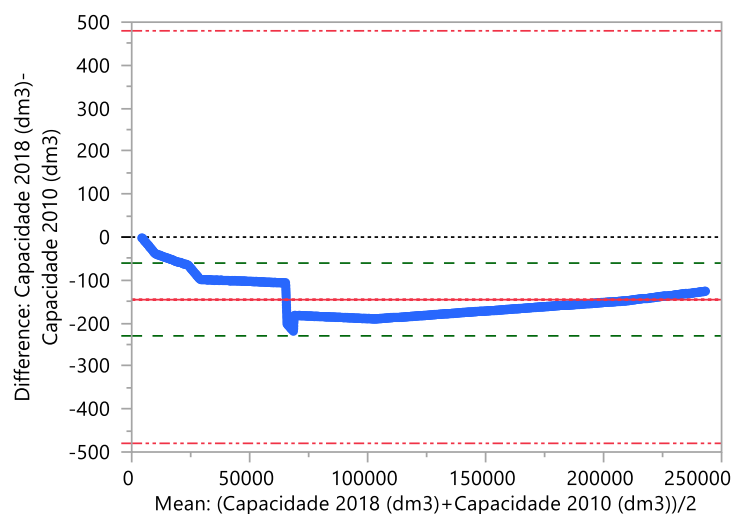


Figura 4.15 - Gráfico Bland-Altman variação absoluta reservatório T2014

O gráfico Bland-Altman da variação absoluta do reservatório T2015 encontra-se representado na figura 4.16.

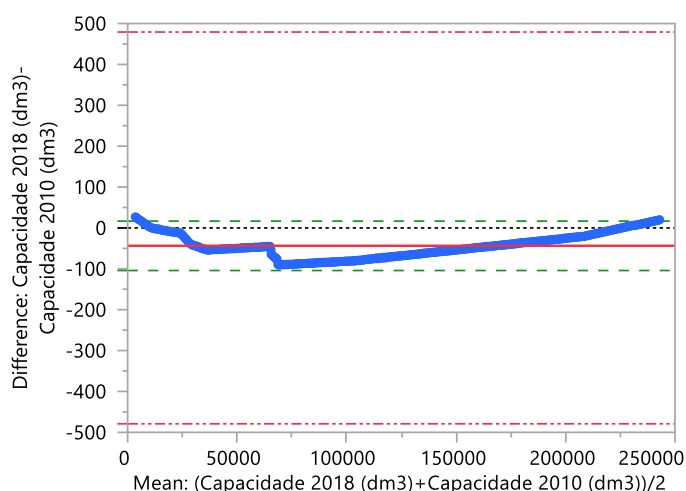


Figura 4.16 - Gráfico Bland-Altman variação absoluta reservatório T2015

Encontram-se representados os limites do intervalo onde 95% das observações deveriam encontrar-se se a distribuição fosse normal (a tracejado verde) e o valor da média (linha contínua vermelha) e a especificação de 480 dm<sup>3</sup> (tracejado vermelho).

Os valores da média, já anteriormente obtidos como resultado, indicam-nos que existe uma variação no valor da capacidade entre verificações, e isto é expectável devido a alterações estruturais no reservatório ao longo do tempo.

Através dos gráficos 4.15 e 4.16 constatamos que os valores das diferenças se encontram dentro do valor hipotético dos limites estabelecidos, e verifica-se também que a média da variação

absoluta se encontra dentro dos limites, o que determina graficamente que ambos os reservatórios se encontram em acordo com o limite hipotético e têm um resultado satisfatório na avaliação da sua variação absoluta, de acordo com os limites hipotéticos estabelecidos.

Adaptou-se uma análise semelhante à do Bland-Altman *Plot* para a variação relativa percentual da capacidade entre verificações à luz do anexo B da norma ISO 7507 -1, ilustrada nos gráficos 4.17 e 4.18, que nos indica que uma variação entre 0,01% e 0,05% é significativa.

Ou seja, podemos estipular de forma hipotética que o resultado ideal das observações da variação da capacidade dos reservatórios entre as verificações ao longo da altura de sondagem do reservatório deverão encontrar-se entre os valores de  $\pm 0,01\%$  e  $\pm 0,05\%$ , sendo este um teste de acordo entre verificações mais sensível e exigente que o anterior.

Na figura 4.17, é representado o gráfico de Bland-Altman para a variação do reservatório T2014.

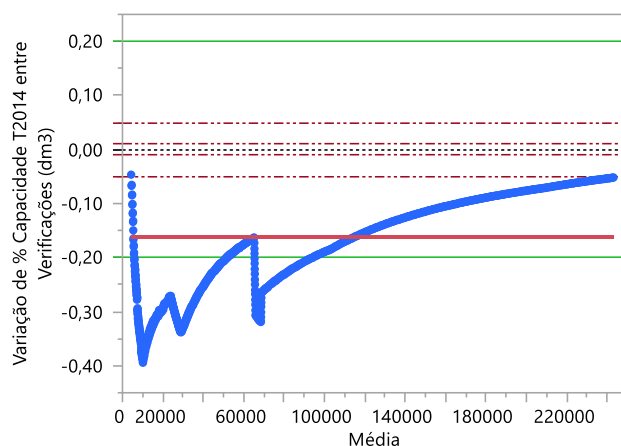


Figura 4.17 - Gráfico Bland-Altman variação relativa percentual T2014

O gráfico de Bland-Altman para a variação relativa percentual do reservatório T2015 encontra-se representado na figura 4.18.

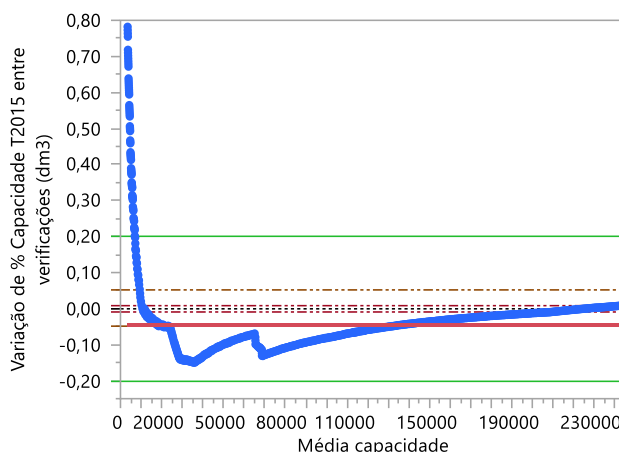


Figura 4.18 - Gráfico Bland-Altman variação relativa percentual T2015



Observa-se anteriormente no capítulo 4.4.6 que o desvio, a média da variação entre verificações é de -0,16% e -0,045% (linha contínua vermelha) para os reservatórios T2014 e T2015, o que indica que no reservatório T2014 ocorreu decréscimo médio de 0,16% da capacidade entre 2010 e 2018 e no reservatório T2015 uma diminuição média de 0,045% da sua capacidade entre 2010 e 2018.

Verifica-se que tendo em conta o intervalo de 0,01% e 0,05% (linhas vermelhas a tracejado) para a variação relativa percentual apenas o valor da média de variação relativa percentual do reservatório T2015 se encontra dentro do intervalo de 0,05%.

Contudo, se levarmos em conta a média da variação relativa absoluta e relativa percentual hipotética de  $\pm 0,2\%$  (linha contínua verde) ambos os reservatórios se encontram de acordo com os limites hipotéticos estabelecidos entre verificações.



## 5. Análise dos dados dos reservatórios de teto fixo

Este capítulo é referente à representação da amostra dos dados dos boletins de verificação dos reservatórios de teto fixo e o seu tratamento analítico.

### 5.1. Identificação e caracterização da amostra dos reservatórios de teto fixo

Os dados correspondem aos valores da tabela de sondagem dos certificados de verificação metrológica dos reservatórios de teto fixo que se encontram nos Anexos V, VI, VII, VIII, IX, X.

Aos dados da amostra correspondem os valores da tabela de sondagem de 2 boletins de verificação para cada Reservatório. Os Reservatórios pertencem a um local não identificado e a amostra é constituída por três reservatórios cilíndrico verticais de teto fixo, conforme indicado na tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Quadro de anexos dos reservatórios de teto fixo

Local	Reservatório	Data de Verificação	Anexo
Entidade T	T402	2008 e 2018	V, VI
	T403	2008 e 2018	VII, VIII
	T404	2008 e 2018	IX, X

O método utilizado para as medições do fundo (volume abaixo do zero de sondagem) e corpo físico de todos os reservatórios foi conseguido através do método físico e ótico exterior respetivamente, utilizando como documentos de referência a Portaria nº 1541/2007 (MEI, 2007), OIML R71 (OIML, 2008).

As operações de medição foram realizadas pelo mesmo técnico especializado designado como TEC F, tendo sido utilizados os seguintes instrumentos de medição, indicados na tabela 5.2 e, seus graus de exatidão, contudo não conseguimos esclarecer se foram utilizados os mesmos instrumentos em cada uma das medições.

Tabela 5.2 - Quadro de instrumentos de medição dos reservatórios de teto fixo

Local	Reservatório	Instrumentos de medição	grau de exatidão
Entidade T	T402, T403 e T404	Fita métrica	0,2/1000
		Fita de sondagem	0,2/1000
		Medidor de espessuras	± 0,2 mm
		Teodolito	0,2/1000

As condições do ensaio foram as indicadas na tabela 5.3:

Tabela 5.3 - Condições de ensaio dos reservatórios de teto fixo

Local	Reservatório	Condições de ensaio	Valor
Entidade T	T402, T403 e T404	Temperatura de serviço	20° C
		Massa volúmica	0,88 kg/ dm <sup>3</sup>
		Produto	Biodiesel

Todos os reservatórios tinham a chapa de sondagem fixa na 1ª virola e indicador de nível automático. Todos os certificados de verificação da amostra tinham como resultado que a exatidão da tabela volumétrica ou tabela de sondagem tem como exatidão 2/1000, conforme estipulado na Portaria 1541/2007.

Os reservatórios apresentavam as seguintes características e pontos de referência apresentados na tabela 5.4 e tabela 5.5:

Tabela 5.4 - Características dos reservatórios de teto fixo

Local	Reservatório	Característica	Tipo/Presença	Virolas	Altura (mm)
Entidade T	T402, T403 e T404	Teto	Fixo	1ª	1500
		Tipo de Fundo	Plano	2ª	1500
		Chapa Batente	Fixa 1ª Virola	3ª	1500
		Tubo de Espuma	Não	4ª	1500
		Drenagem	Sim	5ª	1500
		Sonda Termométrica	Sim	6ª	1500
		Sonda de Massa Volúmica	Não	7ª	1500
		Indicador de Nível	Automático	8ª	1500
		Volume Nominal (dm <sup>3</sup> )	150 000		

Tabela 5.5 - Pontos de referência dos reservatórios de teto fixo

Local	Reservatório	Pontos de referência	Altura (mm)
Entidade T	T402, T403 e T404	Altura de referência (Hr)	12170
		Altura de Sondagem (Hs) T402	11899
		Altura de Sondagem (Hs) T403 e 404	11902
		Altura útil (Hu)	12000
		Altura total (Ht)	12000
		Altura chapa batente (Hcb) T402	101
		Altura chapa batente (Hcb) T403 e T404	98

## 5.2. Metodologia de análise de dados das tabelas de sondagem

A metodologia de análise de dados foi realizada com recurso ao software JMP 14 *student edition* da SAS e consiste em:

- Elaboração de um gráfico de capacidade por altura de sondagem para as diferentes verificações dos reservatórios da amostra e subseqüentes estatísticas sumárias;
- Comparação da capacidade entre verificações e a sua reta de regressão linear dos reservatórios da amostra;
- Gráfico de variação absoluta da capacidade entre verificações por altura de sondagem para os diferentes reservatórios e as suas estatísticas;
- Histograma da variação absoluta da capacidade entre verificações para os reservatórios e ajustamento à distribuição normal da variação da capacidade e elaboração de um teste Kolmogorov-Smirnov para os diferentes reservatórios;
- Elaboração de um gráfico de variação relativa percentual da capacidade entre verificações por altura de sondagem dos reservatórios e suas estatísticas;
- Histograma de variação relativa percentual da capacidade entre verificações dos reservatórios e suas estatísticas e ajustamento à distribuição normal das variações de capacidade e teste Kolmogorov-Smirnov para os diferentes reservatórios;
- Elaboração de gráfico Bland-Altman da variação absoluta e variação relativa percentual da capacidade entre verificações dos reservatórios;

### 5.2.1. Capacidade dos reservatórios de teto fixo

O gráfico de capacidade do reservatório T402 por altura de sondagem na verificação de 2008 e 2018 é representado na figura 5.1 e 5.2 respetivamente.

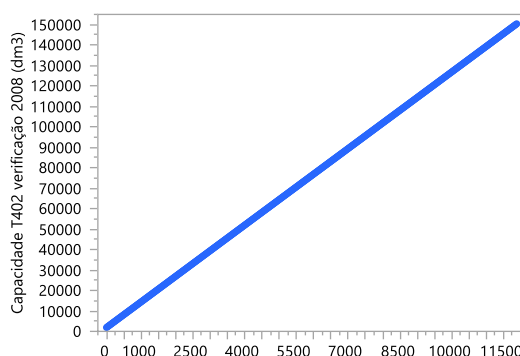


Figura 5.1 - Gráfico de Capacidade de T402 verificação 2008

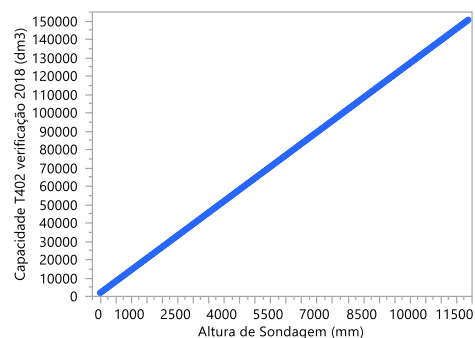


Figura 5.2 - Gráfico de Capacidade de T402 verificação 2018

Verifica-se que a capacidade, ou quantidade de líquido contida no reservatório acima da chapa do batente (explicitado nas fig 4.17 e 4.18), corresponde aos intervalos com as seguintes características:

- Intervalo de altura de sondagem: [0; 11900] mm;
- Capacidade do Reservatório T402 verificação 2008: [1887; 150638] dm³;
- Capacidade do Reservatório T402 verificação 2018: [1900; 150993] dm³.

Podemos verificar que existe uma variação absoluta de capacidade entre verificações, de acordo com o mesmo método de verificação, com um valor [13] dm³ no início e de [355] dm³ no fim da tabela de sondagem para o mesmo reservatório. O gráfico de capacidade do reservatório T403 por altura de sondagem na verificação de 2008 e 2018 é ilustrado na figura 5.3 e 5.4.

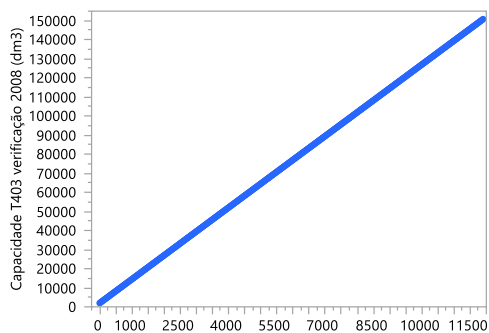


Figura 5.3 - Gráfico de Capacidade de T403 verificação 2008

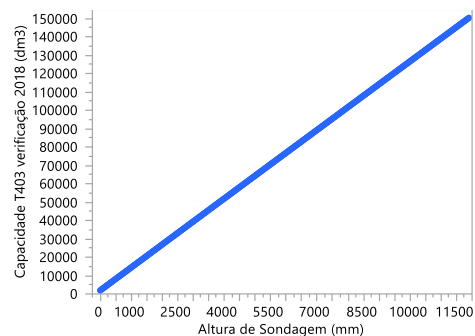


Figura 5.4 - Gráfico de Capacidade de T403 verificação 2018

Verifica-se que a capacidade, ou quantidade de líquido contida no reservatório acima da chapa do batente (explicitado nas fig 5.3 e 5.4) corresponde aos intervalos com as seguintes características:

- Intervalo de altura de sondagem: [0; 11901] mm;
- Capacidade do Reservatório T403 verificação 2008: [1970; 150801] dm<sup>3</sup>;
- Capacidade do Reservatório T403 verificação 2018: [1887; 150440] dm<sup>3</sup>.

Podemos verificar que existe uma variação absoluta de capacidade entre verificações com um valor |83| dm<sup>3</sup> no início e de |361| dm<sup>3</sup> no fim da tabela de sondagem do reservatório. O gráfico de capacidade do reservatório T404 por altura de sondagem na verificação de 2008 e 2018 é ilustrado na figura 5.5 e 5.6

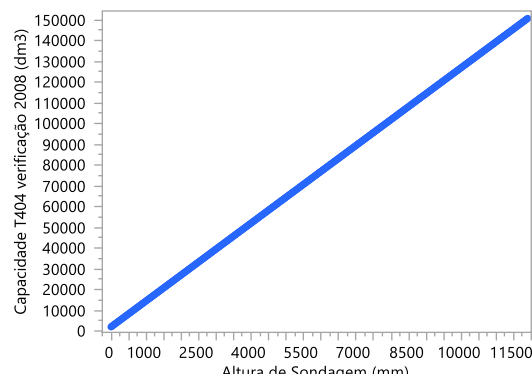


Figura 5.5 - Gráfico de Capacidade de T404 verificação 2008

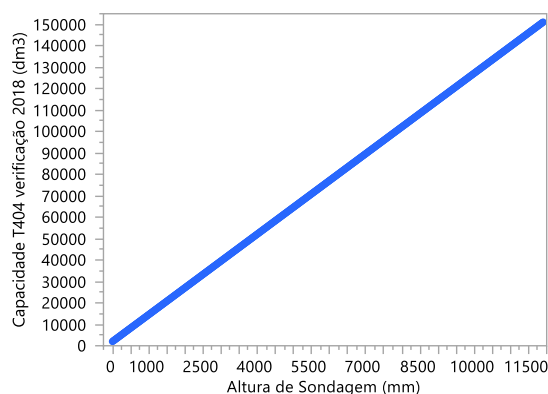


Figura 5.6 - Gráfico de Capacidade de T404 verificação 2018

Verifica-se que a capacidade, ou quantidade de líquido contida no reservatório acima da chapa do batente (explicitado nas fig 5.5 e 5.6), corresponde aos intervalos com as seguintes características:

- Intervalo de altura de sondagem: [0; 11903] mm;
- Capacidade do Reservatório T2014 verificação 2008: [1996; 150805] dm<sup>3</sup>;

- Capacidade do Reservatório T2014 verificação 2018: [2002; 151106] dm<sup>3</sup>.

Podemos verificar que existe uma variação absoluta de capacidade entre verificações, de acordo com o mesmo método de verificação, com um valor |6| dm<sup>3</sup> no início e de |301| dm<sup>3</sup> no fim da tabela de sondagem.

O valor da correlação e covariância entre a capacidade e altura de sondagem na verificação de 2010 e verificação de 2018 dos reservatórios T402, T403 e T404 é indicado na tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Estatística sumária dos reservatórios de teto fixo

Reservatório	T402		T403		T404	
verificação	2008	2018	2008	2018	2008	2018
Correlação	1	1	1	1	1	1
Covariância	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,48
N	11900	11900	11901	11901	11903	11903

N – Altura de sondagem

Como na estatística sumária dos reservatórios de teto flutuante, a capacidade do reservatório correlacionada com a altura de sondagem (representada por N), ou altura do reservatório, e conforme a covariância, esta relação ocorre no sentido crescente, ou seja, quanto maior a altura do reservatório, maior o aumento da sua capacidade.

### 5.2.2. Comparação de capacidade dos reservatórios de teto fixo

Nas figuras 5.7 - 5.9, é representada a comparação de capacidade entre verificações dos reservatórios T402, T403 e T404.

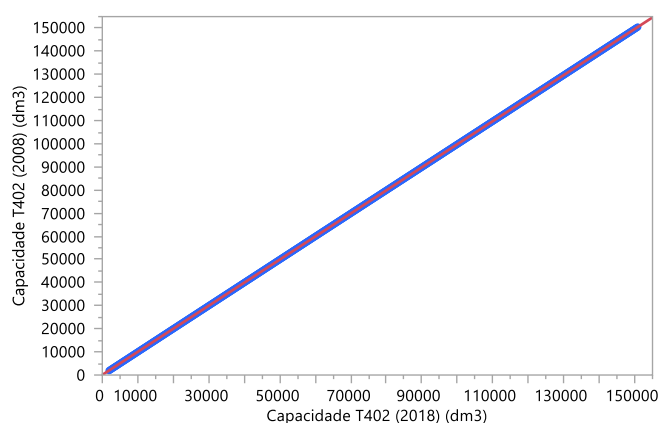


Figura 5.7 - Gráfico de comparação de capacidade T402

Foi realizada uma regressão linear ao reservatório T402, que é representada pela equação 5:



Equação 5:  $y = 57,44 + 0,99 \cdot x$

y = capacidade 2008

x = altura de sondagem

Erro quadrático médio - 23,73

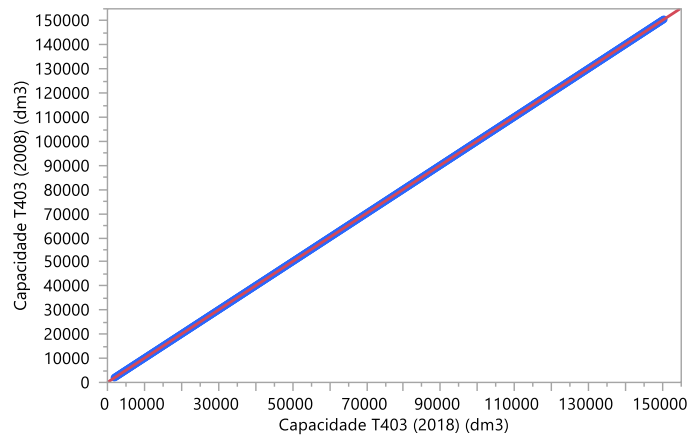


Figura 5.8 - Gráfico de comparação de capacidade T403

Foi realizada uma regressão linear ao reservatório T403 que é representada pela equação 6:

Equação 6:  $y = 31,12 + 1 \cdot x$

y = capacidade 2008

x = capacidade 2018

Erro quadrático médio – 18,53

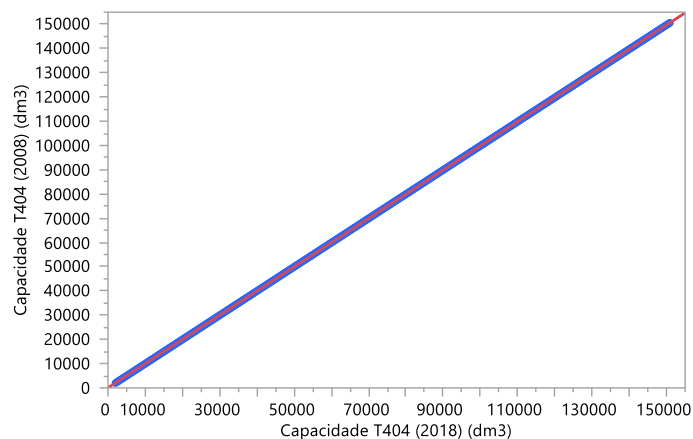


Figura 5.9 - Gráfico de comparação de capacidade T404

Foi realizada uma regressão linear ao reservatório T404 que é representada pela equação 7:

Equação 7:  $y = 35,61 + 0,99 \cdot x$

y = capacidade 2008

x = altura de sondagem

Erro quadrático médio – 15,85

Os valores indicam que existe uma relação linear crescente entre as verificações de capacidade do reservatório e que estas diferem em 23,73 dm<sup>3</sup>; 18,53 dm<sup>3</sup> e 15,85 dm<sup>3</sup>, para os reservatórios T402, T403 e T404, respetivamente, à reta que representa o ajustamento do valor de capacidade das verificações.

Os valores de correlação da capacidade na verificação de 2008 e 2018 para os reservatórios T402, T403 e T404 é indicado na tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Correlação capacidade de verificações T402, T403 e T404

Correlação - R	1
P-Value	0,0001

Podemos verificar que a comparação revelada pelo valor da correlação de capacidade entre as duas verificações para os reservatórios tem o mesmo valor de 1, o que indica que existe uma forte relação entre os valores de ambas as verificações da capacidade dos reservatórios. Visto tratar-se do mesmo reservatório, esta relação é esperada.

### 5.2.3. Variação absoluta de capacidade dos reservatórios de teto fixo

A equação da variação absoluta de capacidade entre verificações ao longo da tabela de sondagem é representada na equação 8:

Equação 8: Variação absoluta de capacidade = capacidade 2018-capacidade 2008

Podemos observar o comportamento da variação absoluta da capacidade dos reservatórios entre as verificações de 2008 e 2018 nas figuras 5.10 - 5.12.

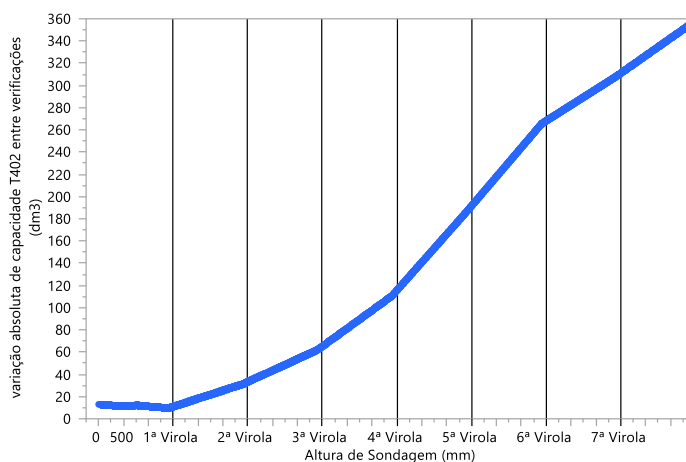


Figura 5.10 - Gráfico de variação absoluta de capacidade reservatório T402

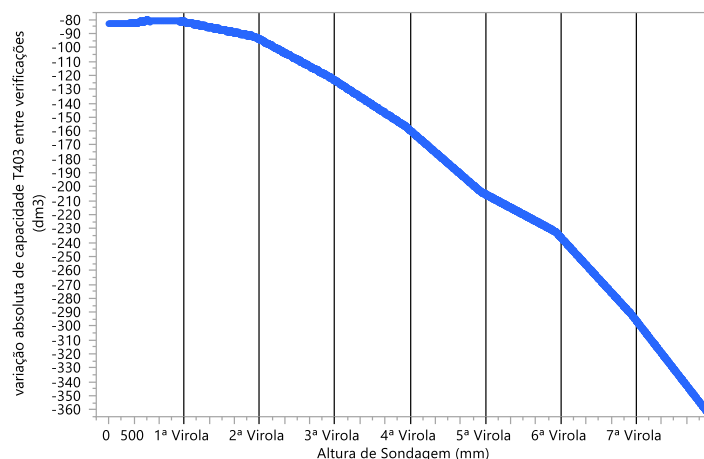


Figura 5.12 - Gráfico de variação absoluta de capacidade reservatório T403

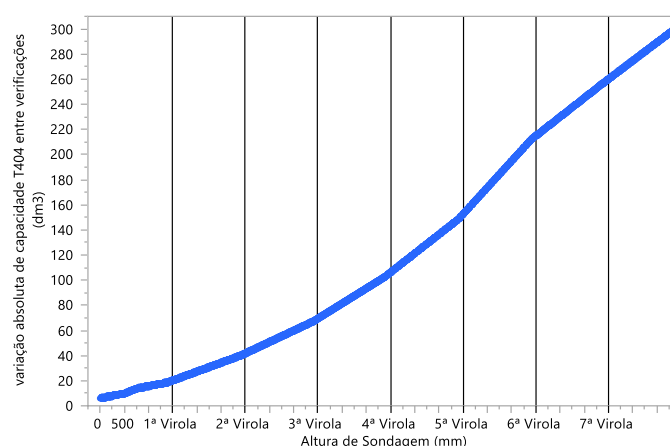


Figura 5.11 - Gráfico de variação absoluta de capacidade reservatório T404

Graficamente podemos observar o comportamento da variação absoluta da capacidade dos reservatórios entre as verificações de 2008 e 2018, sendo que se verifica um valor aproximadamente constante da variação absoluta da capacidade na 1ª virola para os reservatórios T402 e T403 e um aumento da variação absoluta de capacidade no sentido crescente (pois assume valor positivo) para os reservatórios T402 e T404 e no sentido decrescente (assume valores negativos) para o reservatório T403 até ao fim da tabela de sondagem e última virola.

Foram obtidos os valores de correlação entre a variação absoluta da capacidade e altura de sondagem para os reservatórios T402, T403 e T404 indicados na tabela 5.8 e as estatísticas referentes à média e desvio padrão da variação absoluta da capacidade na tabela 5.9.

Tabela 5.8 - Correlação de variação absoluta capacidade reservatórios teto fixo

Correlação		
T402	T403	T404
0,97	-0,97	0,98

Tabela 5.9 - Estatísticas dos reservatórios de teto fixo

Variável	Média	Desvio Padrão
Variação de Capacidade T402 entre Verificações (dm <sup>3</sup> )	145,66	116,85
Variação de Capacidade T403 entre Verificações (dm <sup>3</sup> )	-175,81	83,48
Variação de Capacidade T404 entre Verificações (dm <sup>3</sup> )	125,93	92,23

Os valores de correlação determinam que existe uma relação muito acentuada da variação absoluta da capacidade com a altura de sondagem, o que significa que as variações absolutas da capacidade obtidas nas verificações estão fortemente relacionadas com a altura dos reservatórios de teto fixo.

Observa-se ainda que os valores das variações absolutas ao longo da altura de sondagem dispersam entre 116,85; 83,48 e 92,23 dm<sup>3</sup> dos valores da média 145,66; -175,81 e 125,93 dm<sup>3</sup> respetivamente, conforme representado nos histogramas da figura 5.13, 5.14 e 5.15 respetivamente.

Sendo que significa que, no caso do reservatório T403, em média a capacidade medida em 2008 é maior em 175,81 dm<sup>3</sup> do que a capacidade medida em 2018. Para o reservatório T402 e T404, a capacidade medida em 2008 é menor em média 147,76 dm<sup>3</sup> e 127,59 dm<sup>3</sup> respetivamente que a capacidade medida em 2018.

#### 5.2.4. Histograma da variação absoluta dos reservatórios de teto fixo

Foi construído os histogramas dos valores das diferenças de capacidade dos reservatórios de teto fixo que se encontram ilustrados nas figuras 5.13 - 5.15.

Verifica-se que a distribuição da variação absoluta entre verificações do reservatório T402 tem como hipótese de ajustamento à normal  $N(145,66; 116,85)$  e a sua *box-plot* e estatísticas são indicadas nas tabelas 5.10 e 5.11,

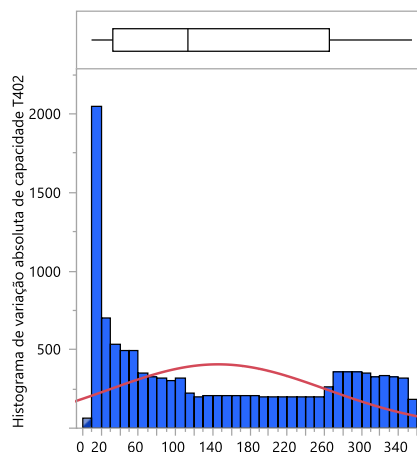


Figura 5.13 - Histograma variação absoluta de capacidade reservatório T402

Tabela 5.10 - *Box-plot* variação absoluta de ajustamento à Normal T402

100,0%	Máximo	355
99,5%		353
97,5%		346
90,0%		317,9
75,0%	Quartil	266
50,0%	Mediana	113
25,0%	Quartil	33
10,0%		12
2,5%		10
0,5%		10
0,0%	Mínimo	9

Tabela 5.11 - Estatística variação absoluta do reservatório T402

Média	145,66
Desvio Padrão	116,85
Erro Padrão	1,071
95% IC	143,56
95% IC	147,76
N	11900

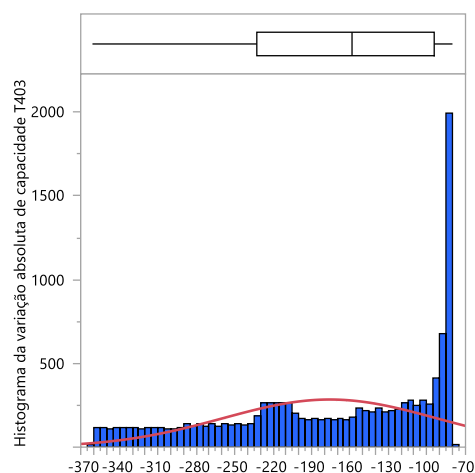


Figura 5.14 - Histograma variação absoluta de capacidade reservatório T403

A hipótese de ajustamento da distribuição da variação absoluta do reservatório T403 à normal é  $N(-175,81; 83,48)$  e a sua *box-plot* e estatísticas são indicadas nas tabelas 5.12 e 5.13.

Tabela 5.12 - *Box-plot* variação absoluta de ajustamento à Normal T403

100,0%	Máximo	-80
99,5%		-81
97,5%		-81
90,0%		-83
75,0%	Quartil	-94
50,0%	Mediana	-158
25,0%	Quartil	-233
10,0%		-306
2,5%		-347
0,5%		-358
0,0%	Mínimo	-361

Tabela 5.13 - Estatística variação absoluta do reservatório T403

Média	-175,81
Desvio padrão	83,48
Erro Padrão	0,77
95% IC	-177,31
95% IC	-174,31
N	11901

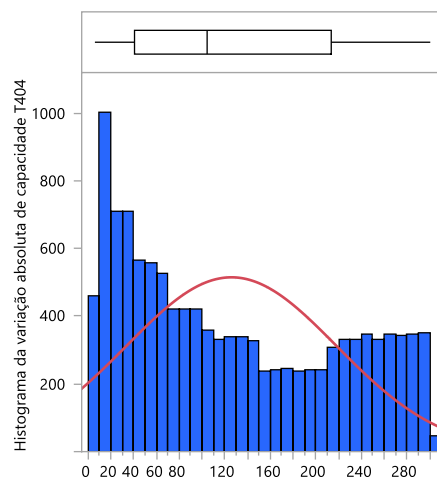


Figura 5.15 - Histograma variação absoluta da capacidade reservatório T404

A hipótese de ajustamento da variação absoluta do reservatório T404 à normal é  $N(125,93; 92,23)$  e está caracterizada de acordo com a *box-plot* e estatísticas das tabelas 5.14 e 5.15.

Tabela 5.14 - *Box-plot* variação absoluta de ajustamento à Normal T404

100,0%	Máximo	301
99,5%		299
97,5%		292
90,0%		266
75,0%	Quartil	213
50,0%	Mediana	105
25,0%	Quartil	41
10,0%		17
2,5%		8
0,5%		6
0,0%	Mínimo	6

Tabela 5.15 - Estatística variação absoluta do reservatório T404

Média	125,93
Desvio Padrão	92,23
Erro Padrão	0,85
95% IC	124,28
95% IC	127,59
N	11903

Os Quadros das *box-plot* indicam-nos que a mediana do reservatório T402, T403 e T404, respetivamente, tem o valor de 113 dm<sup>3</sup>, -158 dm<sup>3</sup> e 105 dm<sup>3</sup> e que 50% das observações correspondem ao intervalo de valores [9; 113[ dm<sup>3</sup>, [-361; -158[ dm<sup>3</sup> e [6; 105[ dm<sup>3</sup> e aos outros 50% corresponde o intervalo ]113; 355] dm<sup>3</sup>, ]-158; -80] dm<sup>3</sup> e ]105; 301] dm<sup>3</sup> correspondendo ao intervalo [9; 355] dm<sup>3</sup>, [-361; -80] dm<sup>3</sup> e [6; 301] dm<sup>3</sup> o conjunto total de observações, a 100%, dos valores da variação absoluta da capacidade obtidas entre as verificações.

O mínimo valor de diferença observada do reservatório T402, T403 e T404, respetivamente, foi de 9 dm<sup>3</sup>, -361 dm<sup>3</sup> e 6 dm<sup>3</sup> e o máximo de 355 dm<sup>3</sup>, -80 dm<sup>3</sup> e 301 dm<sup>3</sup>, os módulos dos valores mínimos correspondem a |9| dm<sup>3</sup>, |361| dm<sup>3</sup> e |6| dm<sup>3</sup> e os valores máximos a |355| dm<sup>3</sup>, |80| dm<sup>3</sup> e |301| dm<sup>3</sup>. Os quadros das tabelas 5.13, 5.14 e 5.15 indicam que, o intervalo de confiança dos valores da média a que corresponde 95%, é de ]-143,56; -147,76[ dm<sup>3</sup>, ]174,31; 177,31[ dm<sup>3</sup> e ]-124,28; -127,59[ dm<sup>3</sup>.

Realizou-se um teste de ajustamento às distribuições através do teste Kolmogorov-Smirnov, tendo como resultado a rejeição da H<sub>0</sub>, em que a distribuição de cada um dos reservatórios seria normal, indicando que não se trata de distribuições normais, assumindo dessa forma que se tratam de distribuições não paramétricas.

### 5.2.5. Variação relativa percentual dos reservatórios de teto fixo

Foi calculada a variação relativa percentual da capacidade do reservatório entre verificações através da equação 9:

$$\text{Equação 9: Variação relativa percentual da capacidade} = \frac{(\text{Capacidade 2018} - \text{Capacidade 2008})}{\text{Capacidade 2008}} \times 100$$

Tendo sido representado os valores de variação relativa percentual da capacidade por a altura de sondagem dos reservatórios de teto fixo nas figuras 5.16 - 5.18. Constata-se que, também graficamente neste caso, o declive da variação absoluta entre verificações ao longo da tabela de sondagem está relacionado com o comportamento gráfico da variação relativa percentual ao longo da altura de sondagem, apesar de não procedemos à sua representação e prova matematicamente.

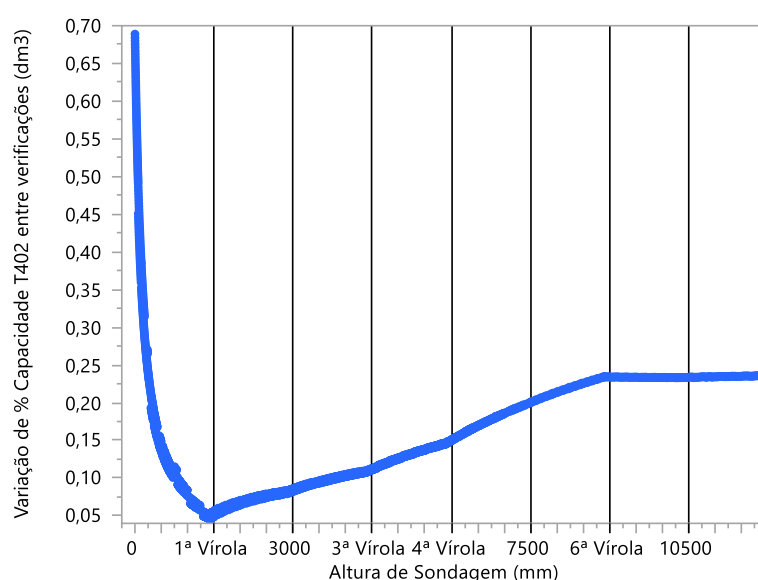


Figura 5.16 - Gráfico de variação relativa % da capacidade reservatório T402

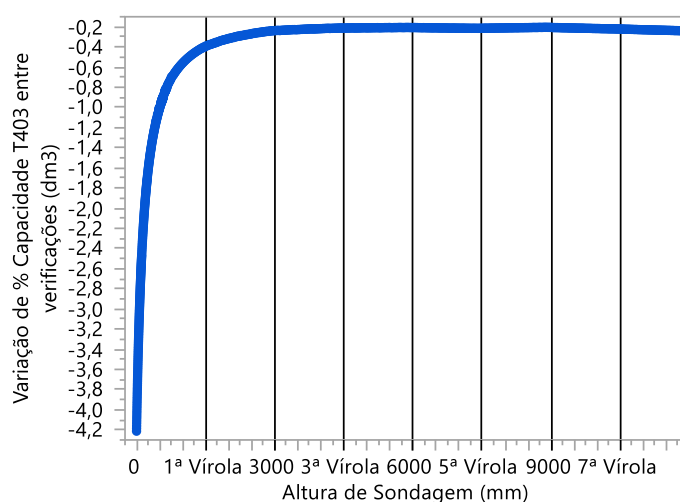


Figura 5.17 - Gráfico de variação relativa % da capacidade reservatório T403



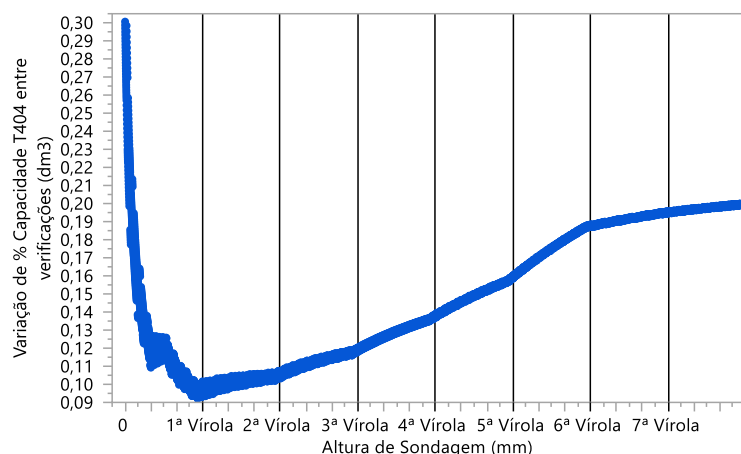


Figura 5.18 - Gráfico de variação relativa % da capacidade reservatório T404

Obteve-se como resultado os seguintes valores de máximo, mínimo, amplitude, média e desvio padrão representados na tabela 5.16 e os valores de correlação da variação relativa percentual da capacidade em percentagem e a altura de sondagem na tabela 5.17.

Tabela 5.16 - Estatísticas da variação relativa percentual dos reservatórios de teto fixo

	N	Max	Min	Amp	Méd	Desv Pad
Variação % da Capacidade T402 (dm³)	11900	0,69	0,05	0,64	0,16	0,07
Variação % da Capacidade T403 (dm³)	11901	-0,20	-4,21	4,01	-0,33	0,39
Variação % da Capacidade T404 (dm³)	11903	0,30	0,09	0,21	0,15	0,04

No reservatório T402, verifica-se que houve um aumento médio da capacidade do reservatório de 0,16% entre a verificação de 2008 e 2018 e, no reservatório T403, uma diminuição média da capacidade de 0,33% e no reservatório T404 um aumento médio de 0,14% entre a verificação de 2008 e 2018.

Tabela 5.17 - Correlação de variação relativa % da capacidade e altura de sondagem

Correlação		
T402	T403	T404
0,65	0,45	0,83

Verifica-se que existe uma correlação significativa entre a variação e altura de sondagem.

#### 5.2.6. Histograma de variação relativa dos reservatórios de teto fixo

Foram construídos os histogramas dos valores de variação de capacidade dos reservatórios de teto fixo representados nas figuras 5.19 - 5.21. com base nas tabelas 5.18 – 5.23

O histograma da variação relativa percentual da capacidade do reservatório T402 é ilustrado na figura 5.19.

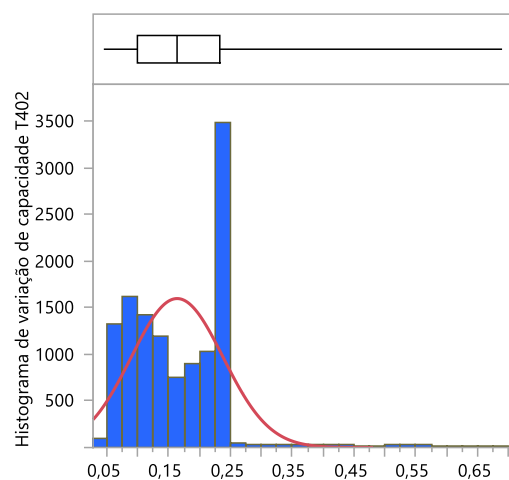


Figura 5.19 - Histograma de variação relativa % da capacidade T402

Na tabela 5.18 e 5.19 é ilustrada a *Box-plot* da distribuição da variação relativa percentual do reservatório T402 e as suas estatísticas respetivamente.

Tabela 5.18 - *Box-plot* variação relativa % da capacidade T402

100,0%	Máximo	0,688
99,5%		0,496
97,5%		0,235
90,0%		0,234
75,0%	Quartil	0,233
50,0%	Mediana	0,164
25,0%	Quartil	0,100
10,0%		0,072
2,5%		0,055
0,5%		0,049
0,0%	Mínimo	0,045

Tabela 5.19 - Estatística variação relativa % do reservatório T402

Média	0,163
Desvio Padrão	0,074
Erro Padrão	0,0006
95% IC	0,165
95% IC	0,162
N	11900

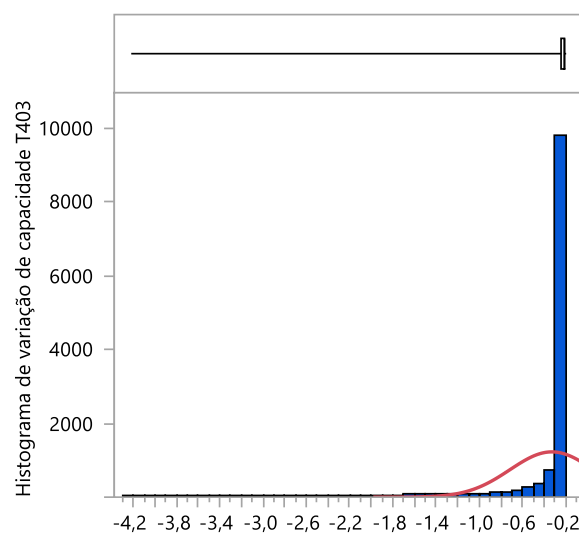


Figura 5.20 - Histograma de variação relativa % da capacidade T403

Na tabela 5.20 e 5.21 é ilustrada a *Box-plot* da distribuição da variação relativa percentual do reservatório T403 e as suas estatísticas respetivamente.

Tabela 5.20 - *Box-plot* variação relativa % da capacidade T403

100,0%	Máximo	-0,205
99,5%		-0,205
97,5%		-0,206
90,0%		-0,208
75,0%	Quartil	-0,211
50,0%	Mediana	-0,217
25,0%	Quartil	-0,239
10,0%		-0,481
2,5%		-1,461
0,5%		-3,072
0,0%	Mínimo	-4,213

Tabela 5.21 - Estatística variação relativa % do reservatório T403

Média	-0,329
Desvio Padrão	0,387
Erro Padrão	0,004
95% IC	-0,323
95% IC	-0,337
N	11901

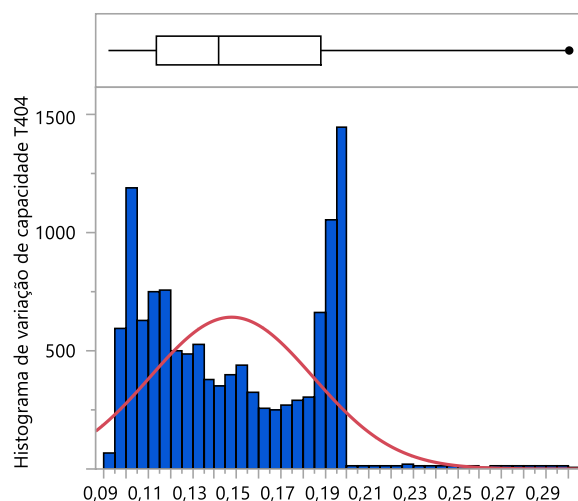


Figura 5.21 - Histograma de variação relativa % de capacidade T404

Na tabela 5.22 e 5.23 é ilustrada a *Box-plot* da distribuição da variação relativa percentual do reservatório T404 e as suas estatísticas respetivamente.

Tabela 5.22 - *Box-plot* variação relativa % da capacidade T404

100,0%	Máximo	0,300
99,5%		0,235
97,5%		0,199
90,0%		0,196
75,0%	Quartil	0,188
50,0%	Mediana	0,142
25,0%	Quartil	0,114
10,0%		0,102
2,5%		0,098
0,5%		0,095
0,0%	Mínimo	0,092

Tabela 5.23 - Estatística variação relativa % do reservatório T404

Média	0,148
Desvio Padrão	0,037
Erro Padrão	0,0003
95% IC	0,148
95% IC	0,147
N	11903

Verifica-se que as distribuições da variação de capacidade dos reservatórios T402, T403 e T404 têm como hipótese de ajustamento à distribuição normal  $N(-0,16; 0,07)$ ,  $N(-0,33,0,39)$  e  $N(0,15,0,04)$  e estão caracterizadas de acordo com as *box-plot* e estatísticas das tabelas 5.17 e 5.18 para o reservatório T402, tabelas 5.19 e 5.20 para o reservatório T403 e tabelas 5.21 e 5.22 para o reservatório T404.

O Quadro das *box-plot* indica a mediana 0,16%, -0,22% e 0,14% dos reservatórios T402, T403 e T404 respetivamente e que 50% das observações de valores se encontram no intervalo  $[0,05; 0,16]%$ ,  $[-4,21; -0,22]%$  e  $[0,09; 0,14]%$  e as outras 50% correspondem ao intervalo  $]0,16; 0,69]%$ ,  $] -0,22; -0,21]%$  e  $]0,09; 0,30]%$  correspondendo 100% ao intervalo  $[0,05; 0,69]%$ ,  $[-4,21; -0,21]%$  e  $[0,09; 0,30]%$  que representa o conjunto total de observações das variações obtidas para os reservatórios.

O mínimo valor de variação relativa percentual observado foi de 0,05%, -4,21% e 0,09% e o máximo de 0,69%, -0,21% e 0,3%.

O quadro das estatística indica que, se a distribuição fosse normal, o intervalo de valores a que corresponde 95% das observações, ou seja a, 4 sigma, seria de  $]0,162; 0,165]%$ ,  $] -0,337; -0,323]%$ , e  $]0,147; 0,148]%$ .

Realizou-se um teste de ajustamento à distribuição Normal através do teste Kolmogorov-Smirnov, onde se obteve como resultado que não se trata de distribuições normal, mas, sim, de distribuições não paramétricas.

#### **5.2.7. Acordo da capacidade e variação dos reservatórios de teto fixo**

Construiu-se um gráfico de Bland-Altman para localizarmos graficamente os limites delineados hipoteticamente. Os dados para a construção do gráfico apresentado não apresentam nenhuma transformação adicional e tomam uma abordagem não paramétrica, assumindo como valor

hipotético dos limites de acordo  $-300 \text{ dm}^3$  e  $300 \text{ dm}^3$ , que corresponde a  $\pm 0,2\%$  da capacidade nominal dos reservatórios, conforme representado nas figuras 5.22 - 5.24.

Graficamente encontram-se representados os limites do intervalo onde 95% das observações deveriam encontrar-se se a distribuição fosse normal, estes limites estão representados, mas, devido à dimensão dos gráficos, não são de fácil perceção.

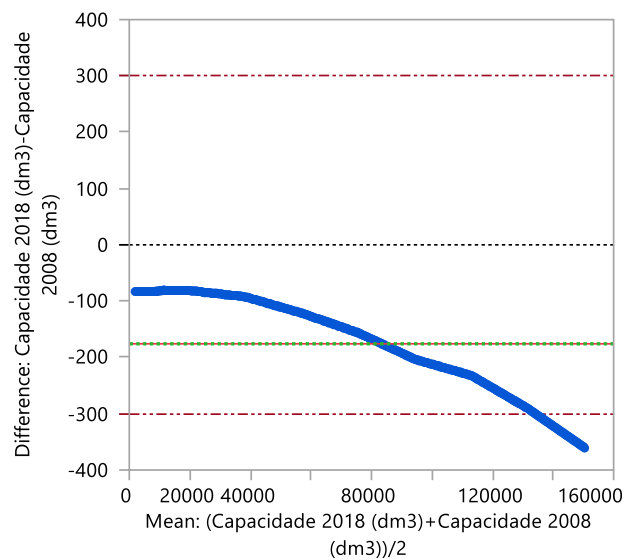


Figura 5.22 - Gráfico Bland-Altman variação absoluta T402

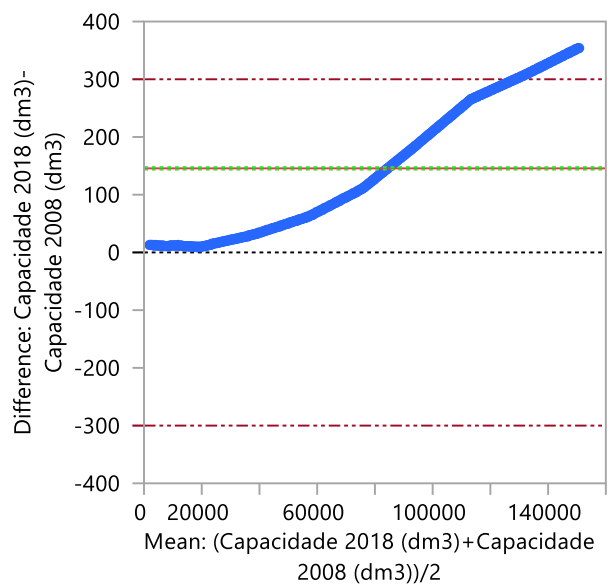


Figura 5.23 - Gráfico Bland-Altman variação absoluta T403

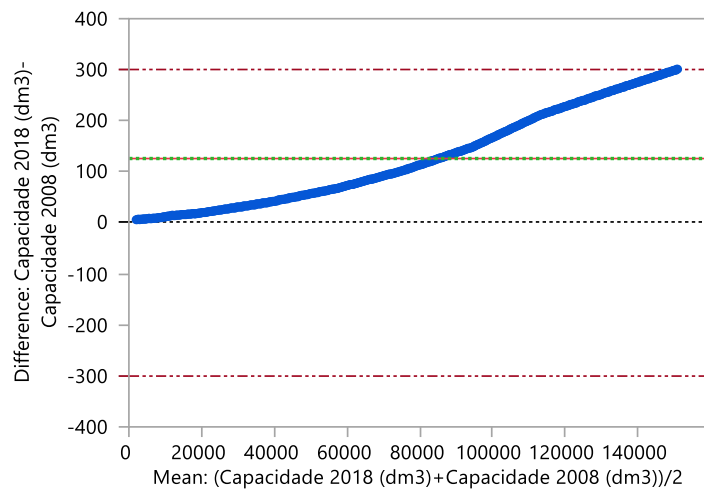


Figura 5.24 - Gráfico Bland-Altman variação absoluta T404

Os valores médios de variação absoluta estão de acordo com o limite hipotético estabelecido de  $\pm 0,2\%$  da capacidade nominal.

Uma análise semelhante à do Bland-Altman Plot para a variação relativa percentual da capacidade entre verificações foi adotada, os limites adotados indicam que uma variação relativa percentual entre 0,01% e 0,05% é significativa de acordo com o anexo-B da ISO 7507-1, sendo estes valores de variação mais rigorosos.

Os gráficos de Bland-Altman Plot para a variação relativa percentual da capacidade entre verificações encontra-se ilustrado nas figuras 5.25 - 5.27.

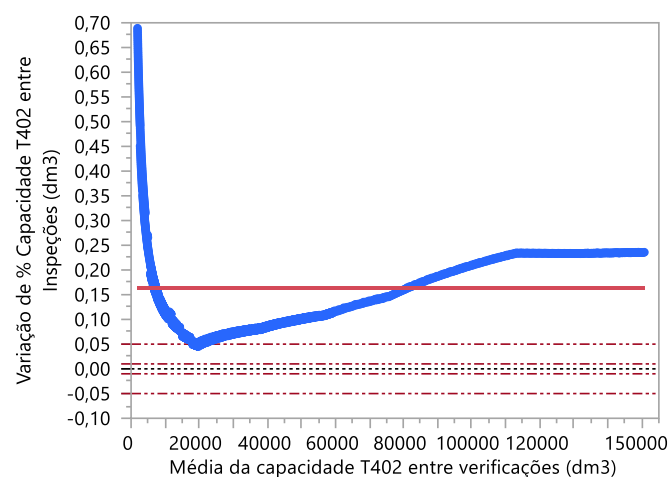


Figura 5.25 - Gráfico Bland-Altman variação relativa % T402

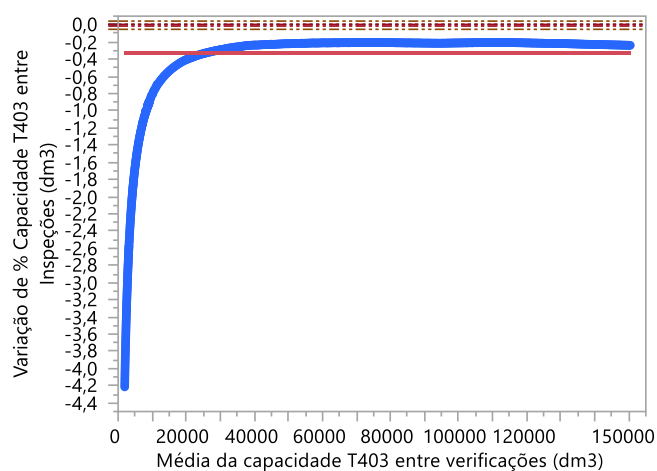


Figura 5.26 -Gráfico Bland-Altman variação relativa % T403

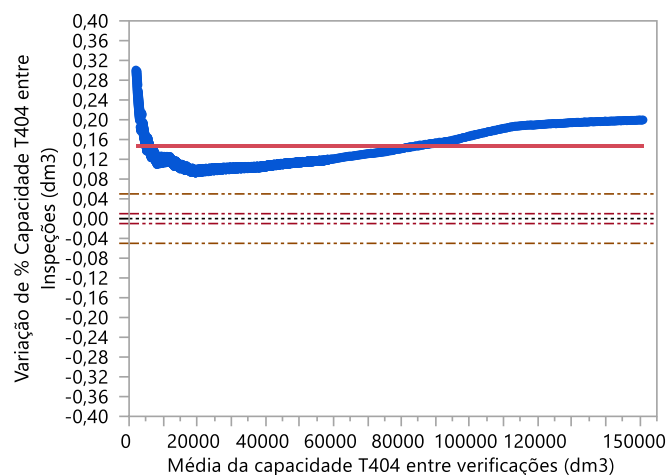


Figura 5.27 - Gráfico Bland-Altman variação relativa % T404

Tendo em conta uma variação dentro do intervalo hipotético de 0,01% e 0,05%, verificou-se que a variação relativa percentual não se encontra sobre este nível de exigência de variação de capacidade, como se pode verificar graficamente, e que os valores de variação relativa média não se encontram dentro destes limites pré estabelecidos.

Contudo, se também levarmos em conta a variação de  $\pm 0,2\%$  (cujos limites não se encontram representados graficamente), para os valores médios da variação relativa percentual os reservatórios T402 e T404 estão de acordo com esse limite e apenas o reservatório T403 não está de acordo com esse limite.



## **6. Discussão de resultados e propostas de melhoria**

Uma das dificuldades encontradas no presente estudo foi a obtenção dos dados, para análise, das tabelas volumétricas dos relatórios de verificação dos reservatórios.

A amostra escolhida para a elaboração do estudo de caso foi efetuada conforme a facilidade da extração dos dados das tabelas volumétricas registados nos relatórios de verificação metrológica em formato digital e extensão PDF.

Foi utilizado o mesmo método em cada uma das verificações de todos reservatórios da amostra, correspondendo ao método físico e ótico exterior, cujos resultados das medições foram utilizados para o cálculo da capacidade do reservatório em altura.

O estudo de caso tem o objetivo de determinar se existem variações e ocorre alteração do valor da capacidade dos reservatórios entre verificações.

Com base na amostra recolhida dos reservatórios de teto flutuante e de teto fixo, procedeu-se à análise dos resultados expostos no capítulo 5, sendo que a cada grupo de tipo de reservatório corresponde ao mesmo modelo.

Constatou-se, inicialmente, na análise à capacidade dos reservatórios de teto flutuante das verificações de 2010 e 2018 no capítulo 4.4.1, que existia uma variação absoluta de 2 dm<sup>3</sup> no início e de 126 dm<sup>3</sup> no fim da tabela de sondagem para o reservatório T2014, e para o reservatório T2015 uma variação absoluta da capacidade entre verificações de 27 dm<sup>3</sup> no início e de 20 dm<sup>3</sup> no fim da tabela de sondagem.

Constatou-se ainda que a capacidade do reservatório de teto flutuante está diretamente correlacionada com a altura do reservatório, e, de acordo com a covariância, esta relação ocorre no sentido crescente, ou seja, quanto maior a altura do reservatório, maior o aumento da sua capacidade como esperado.

No caso dos reservatórios de teto fixo no capítulo 5.4.1, verificou-se uma variação absoluta de capacidade entre as verificações de 2008 e 2018 de 13 dm<sup>3</sup> no início e de 355 dm<sup>3</sup> no fim da tabela de sondagem, para o reservatório T402, e de valor 83 dm<sup>3</sup> no início e de 361 dm<sup>3</sup> no fim da tabela de sondagem no reservatório T403 e para o reservatório T404 uma variação absoluta da capacidade de 6 dm<sup>3</sup> no início e de 301 dm<sup>3</sup> no fim da tabela de sondagem.

Constatou-se também, como esperado, a correlação positiva da altura com a capacidade.

Com base nestes resultados, constatou-se que existe variação nos valores da capacidade dos reservatórios entre verificações no início e final da tabela volumétrica.

Optou-se por realizar-se uma regressão linear aos valores da capacidade entre verificações ao longo da altura de sondagem nos capítulos 4.4.2 e 5.4.2.

Obteve-se, na relação linear entre as verificações de 2010 e 2018 no reservatório T2014, que os valores de capacidade obtidos diferem em média  $38,88 \text{ dm}^3$  à reta das diferenças, e, no caso do reservatório T2015, que os valores obtidos diferem em média  $28,50 \text{ dm}^3$  à reta ajustada.

Nos resultados da regressão linear da capacidade entre verificações dos reservatórios de teto fixo, verificou-se que existe uma relação linear entre as verificações de capacidade entre 2008 e 2018 e que estas diferem em  $23,73 \text{ dm}^3$ ;  $18,53 \text{ dm}^3$  e  $15,85 \text{ dm}^3$ , para os reservatórios T402, T403 e T404 respetivamente, à reta ajustada.

Os gráficos (figuras: 4.5, 4.6, 5.3, 5.4 e 5.5) indicam que ocorre um bom ajustamento e que não existe grande alteração da capacidade entre verificações ao longo da tabela volumétrica para ambos os tipos de reservatórios, onde existe uma forte correlação, como seria de esperar, da capacidade entre as verificações. Contudo, na equação da reta, o ponto de intersecção com o eixo das ordenadas é distante do zero, o que denuncia que, apesar de ligeiros erros quadráticos médios, existe variação de capacidade entre as verificações.

Optou-se, então, por visualizar-se graficamente o comportamento da variação absoluta da capacidade entre verificações ao longo da tabela de sondagem e as suas estatísticas no capítulo 4.2.3 e 5.2.3.

Nos reservatórios de teto flutuante, verificou-se que, para o reservatório T2014, aumenta a variação absoluta da capacidade até à altura da zona de influência do teto flutuante e continua a aumentar até ao final da 1ª virola e depois diminui até ao fim da altura da tabela de sondagem (figura 4.7). No reservatório T2015, o comportamento é mais errático, diminui e aumenta entre e até à altura da zona de influência do teto flutuante e, posteriormente, diminui até a meio da 3ª virola e volta a aumentar até ao fim da tabela de sondagem (figura 4.8). Nos valores de correlação, verificou-se que não existe uma relação muito significativa entre a variação absoluta da capacidade com a altura de sondagem. Contudo, este valor de correlação, e até mesmo o valor da variação absoluta da capacidade entre as verificações de 2010 e 2018, poderá ser afetado pela influência do teto flutuante nos resultados das medições.

Verifica-se estatisticamente que o valor das diferenças da capacidade entre verificações dispersa  $43,47 \text{ dm}^3$  em volta do valor da média de  $-145,6 \text{ dm}^3$ , para o reservatório T2014 e dispersa  $30,06 \text{ dm}^3$  em torno da média de  $-43,60 \text{ dm}^3$  para o reservatório T2015.

Em todos os reservatórios de teto fixo da amostra, verificou-se um aumento da diferença de capacidade até ao fim da tabela de sondagem (figuras 5.7 e 5.8 e 5.9) e que existe uma relação muito acentuada das diferenças de capacidade com a altura de sondagem.

Observou-se estatisticamente que os valores da variação absoluta ao longo da altura de sondagem dispersam entre 116,85 dm<sup>3</sup>; 83,48 dm<sup>3</sup> e 92,23 dm<sup>3</sup> dos valores da média 145,66 dm<sup>3</sup>; -175,81 dm<sup>3</sup> e 125,93 dm<sup>3</sup> dos reservatórios T402, T403 e T404, respetivamente.

Nesta análise, verificou-se que existe uma diferença no comportamento da variação absoluta da capacidade entre verificações entre os diferentes tipos de reservatórios, sendo que nos reservatórios de teto flutuante, talvez por influência do teto, observou-se este comportamento errático da variação ao longo da altura de sondagem, enquanto que nos reservatórios de teto fixo verifica-se que este comportamento é muito semelhante em ambos os reservatórios onde se verifica um aumento da variação absoluta conforme a altura. Como indicado pelos valores da correlação, constatou-se que o valor da variação absoluta entre as verificações está relacionado com a altura da sondagem.

Isto levou a sugerir que será necessário um estudo mais aprofundado para determinar a causa de a relação da variação absoluta da capacidade estar relacionada com a altura de forma significativa.

Dessa forma, optou-se por estudar o comportamento da distribuição da variação absoluta da capacidade entre verificações nos capítulos 4.4.4 e 5.4.4 e verificar se as mesmas correspondiam a uma distribuição normal.

Constatou-se que, para o reservatório de teto flutuante T2014, o mínimo valor de variação absoluta observada foi de -2 dm<sup>3</sup> e o máximo de -219 dm<sup>3</sup> e, que 50% das observações das diferenças correspondem ao intervalo de valores [-2; -158[ dm<sup>3</sup> e os outros 50% correspondem ao intervalo ]-158; -219] dm<sup>3</sup>. Para o reservatório T2015, o mínimo valor de variação absoluta observada foi de -91 dm<sup>3</sup> e o máximo de 27 dm<sup>3</sup>, e 50% das observações correspondem ao intervalo de valores [-91; -48[ dm<sup>3</sup> e os outros 50 % correspondem ao intervalo ]-48; 27] dm<sup>3</sup>.

Através do teste de Kolmogorov-Smirnov, verificou-se que as distribuições das observações da variação absoluta da capacidade não correspondiam a uma distribuição normal, mas, sim, a distribuições não paramétricas para ambos os reservatórios de teto flutuante.

Para a mesma abordagem para os reservatórios de teto fixo, obteve-se, para os reservatórios T402, T403 e T404, respetivamente, que o mínimo valor da variação absoluta observado foi de 9 dm<sup>3</sup>, -80 dm<sup>3</sup> e 6 dm<sup>3</sup> e o máximo de 355 dm<sup>3</sup>, -361 dm<sup>3</sup> e 301 dm<sup>3</sup> e, que 50% das observações

correspondem ao intervalo de valores  $[9; 113[ \text{ dm}^3$ ,  $[-361; -158[ \text{ dm}^3$  e  $[6; 105[ \text{ dm}^3$  e aos outros 50% correspondem ao intervalo  $]113; 355] \text{ dm}^3$ ,  $[-158; -80] \text{ dm}^3$  e  $]105; 301] \text{ dm}^3$ .

Nos reservatórios de teto fixo, também através do teste de Kolmogorov-Smirnov, verifica-se que as distribuições não correspondiam a uma normal e sim a distribuições não paramétricas.

Realizou-se um ajustamento à normal apesar de as distribuições não corresponderem a uma normal para as distribuições dos reservatórios de teto flutuante e fixo (tabelas 4.10 - 4.13, 5.10, - 5.15). Tendo sido determinado idealmente que o intervalo de confiança de 95% do valor da média, para os reservatórios de teto flutuante T2014 é  $] -144,47; -146,72[ \text{ dm}^3$  e para o reservatório T2015 é  $] -42,82; -44,38[ \text{ dm}^3$ . E para os reservatórios de teto fixo o intervalo de confiança da média de 95%, seria de  $]143,56; 147,76[ \text{ dm}^3$ ,  $] -174,31; -177,31[ \text{ dm}^3$  e  $]124,28; 127,59[ \text{ dm}^3$  para os reservatórios T402, T403 e T404 respetivamente.

Como o objetivo do estudo de caso é verificar a variação da capacidade entre verificações dos reservatórios, foi adotada outra abordagem, além do estudo da variação absoluta no capítulo 4.2.5 e 5.2.5, a análise da variação percentual dos valores da capacidade dos reservatórios entre as verificações ao longo da altura de sondagem.

Observou-se o comportamento da variação relativa percentual para os reservatórios de teto flutuante ao longo da altura de sondagem (figuras 4.11 e 4.12). Para o reservatório T2014, verificou-se que aumenta e diminui a variação relativa percentual até à zona do teto flutuante, onde logo após tem um valor superior e a partir do qual diminui até ao fim da altura de sondagem. Para o reservatório T2015, verifica-se que a variação relativa percentual diminui e aumenta a variação até ao teto flutuante e logo após aumenta de valor e em seguida diminui até ao fim da tabela de sondagem. Para os reservatórios de teto fixo nas figuras 5.12, 5.13 e 5.14, verifica-se graficamente que a variação percentual da capacidade entre verificações no reservatório T402 e T404 diminui até à 1ª virola e aumenta até à 6ª virola, onde assume um valor aproximadamente constante de variação relativa percentual da capacidade até ao final da tabela de sondagem, e, para o reservatório T403, verifica-se que diminui a variação relativa percentual de capacidade até ao fim da 1ª virola, onde a partir da qual assume uma variação aproximadamente constante até ao fim da tabela de sondagem. Para os reservatórios de teto flutuante, obteve-se os valores estatísticos de uma variação relativa percentual média de -0,16% e desvio padrão de 0,08 para o reservatório T2014 e variação média de -0,05% e desvio padrão de 0,08 para o reservatório T2015. Para os reservatórios de teto fixo, o valor de variação relativa percentual média foi de 0,16%, -0,33% e 0,15% e desvio padrão de 0,07, 0,39 e 0,04 para o reservatório T402, T403 e T404 respetivamente.

Verificou-se ainda que, tanto nos reservatórios de teto flutuante como de teto fixo, existe uma correlação acentuada e significativa entre a variação de capacidade entre verificações e a altura de sondagem.

Tomou-se ainda para a variação relativa percentual da capacidade entre verificações do reservatório uma análise à distribuição dos valores observados nos capítulos 4.4.6 e 5.4.6 e foi feito um ajustamento à normal para verificar em que intervalo 95% das observações deveriam encontrar-se.

Nos reservatórios de teto flutuante, verifica-se que, para o reservatório T2014, o mínimo valor de variação observada foi de -0,045% e o máximo de -0,394% e, para o reservatório T2015, o mínimo valor de variação foi de -0,151% e o máximo de 0,782%. Verifica-se ainda que 50% das observações de valores encontram-se no intervalo [-0,045; -0,146[% e os outros 50% correspondem ao intervalo ]-0,146; -0,394[% para o reservatório T2014, e que 50% das observações de valores encontram-se no intervalo [-0,151; -0,043[% e os outros 50% correspondem ao intervalo ]-0,043; 0,782[% para o reservatório T2015.

Através do teste Kolmogorov-Smirnov, verificou-se que as distribuições da variação relativa percentual da capacidade para os reservatórios de teto flutuante não correspondem a uma distribuição normal e que as distribuições são não paramétricas. Verificou-se que o intervalo de confiança dos valores da média de 95%, seria de ]-0,159; -0,163[% para o reservatório T2014 e a ]-0,043; -0,047[% para o reservatório T2015.

Nos reservatórios de teto fixo, o mínimo valor de variação observado foi de 0,05%, -4,21% e 0,09% e o máximo de 0,69%, -0,21% e 0,3% para os reservatórios T402, T403 e T404. E que 50% das observações de valores se encontram no intervalo [0,05; 0,16[% , [-4,21; -0,22[% e [0,09; 0,14[% e as outras 50% correspondem ao intervalo ]0,16; 0,69]%, ]-0,22; -0,21]%, e ]0,09; 0,30]%.

Através do teste Kolmogorov-Smirnov, verificou-se que estas distribuições não correspondiam a uma normal e que são não paramétricas.

Constatou-se que, o intervalo de confiança do valor da média de 95%, seria de ]0,162; 0,165]%, ]-0,337; -0,323]%, e ]0,147; 0,148[% para os reservatórios T402, T403 e T404 respetivamente.

Através do observado, constatou-se, de forma mais clara que existem alterações da capacidade entre as verificações de acordo com os valores de variação percentual da capacidade, o que aliás deveria de acontecer devido às alterações na estrutura e fundações dos reservatórios ao longo do tempo.

Como verificado através da média da variação absoluta, no caso dos reservatórios de teto flutuante, a capacidade medida em 2010 é maior em média 145,6 dm<sup>3</sup> do que a capacidade

medida em 2018 para o reservatório T2014 e é maior em média 43,59 dm<sup>3</sup> que a capacidade medida em 2018 para o reservatório T2015.

Para os reservatórios de teto fixo, em média, a capacidade medida em 2008 é maior em 175,81 dm<sup>3</sup> do que a capacidade medida em 2018, para o reservatório T403 e a capacidade medida em 2008 é menor em média 147,76 dm<sup>3</sup> e 127,59 dm<sup>3</sup> que a capacidade medida em 2018 para o reservatório T402 e T404.

Contudo, optou-se, como referido, por usar outro indicador de variação da capacidade, a variação relativa percentual da capacidade e, como indicado, verifica-se que, para os reservatórios de teto flutuante, ocorreu um decréscimo médio de 0,16% da capacidade entre 2010 e 2018 no reservatório T2014, e uma diminuição média de 0,045% da sua capacidade entre 2010 e 2018 para o reservatório T2015. Para os reservatórios de teto fixo, verifica-se um aumento médio da capacidade de 0,16% entre a verificação de 2008 e 2018 no reservatório T402 e uma diminuição média da capacidade de 0,33% no reservatório T403 e um aumento de 0,14% entre a verificação de 2008 e 2018 para o reservatório T404.

Com base nestes valores, procuramos uma metodologia simples de verificar e visualizar se o valor das diferenças e da variação se encontravam em acordo com limites hipotéticos estipulados nas secções 4.4.7 e 5.4.7.

Tendo-se recorrido aos gráficos Bland-Altman, através do qual podemos verificar se, para os reservatórios de teto flutuante e de teto fixo, os valores das diferenças se encontravam distribuídos dentro do valor hipotético de  $\pm 0,2\%$  da capacidade nominal do modelo dos reservatórios,  $\pm 480$  dm<sup>3</sup> e  $\pm 300$  dm<sup>3</sup> para os reservatórios de teto flutuante e de teto fixo e também se os mesmos se encontravam dentro do intervalo de 95% se a distribuição fosse normal. Através do qual, nas figuras 4.15, 4.16, 5.18 - 5.20, se constatou que os valores da variação absoluta se encontram distribuídos dentro do intervalo ideal de 95% das observações caso fossem normalmente distribuídos em ambos os tipos de reservatórios da amostra. Mas verificou-se que as variações absolutas para o caso dos reservatórios de teto flutuante encontram-se distribuídas e as médias da variação absoluta estão dentro do valor hipotético de  $\pm 480$  dm<sup>3</sup>.

Contudo, nos reservatórios de teto fixo, não se verifica o mesmo resultado, nem todas as observações da variação absoluta se encontram dentro do intervalo de  $\pm 300$  dm<sup>3</sup>, apesar de o valor da média da variação absoluta se encontrar dentro do intervalo.

Adotou-se a mesma metodologia para a variação percentual da capacidade dos reservatórios que é um melhor indicador da variação da capacidade entre verificações dos reservatórios, tendo à luz do anexo B da ISO 7507- 1, onde consta a indicação de que uma variação da capacidade

entre 0,05% e 0,01% é significativa, tendo sido estipulado como limites hipotéticos esses mesmos valores, sendo esta metodologia de avaliação à variação de capacidade muito mais rigorosa e exigente que a anterior do valor da variação absoluta. Através da qual se verificou através das figuras 4.17, 4.18, 5.21 - 5.23 que em ambos os reservatórios os valores observados de variação relativa percentual ao longo da altura de sondagem não se encontravam distribuídos dentro dos intervalos definidos e que apenas o valor da média da variação do reservatório de teto flutuante T2015 se encontrava dentro do intervalo  $\pm 0,05\%$  e em mais nenhum dos restantes reservatórios o valor das médias se encontrava dentro do intervalo de limite estipulado.

Contudo, se também levarmos em consideração um limite hipotético de  $\pm 0,2\%$  e os valores das médias de variação, apenas a média do reservatório T403 não se encontra desse limite, apesar de as observações não se encontrarem totalmente distribuídas nesse intervalo.

Os resultados obtidos e as diferentes abordagens tomadas levam-nos a crer que existe variação e alteração da capacidade dos reservatórios da amostra como expectável e que o procedimento metroológico para determinar a capacidade dos reservatórios poderá também ter influência nestes resultados. Seria interessante realizar-se um estudo semelhante em que fossem utilizados outros métodos para determinar a capacidade dos reservatórios.

Foi evidenciado que a legislação acerca do controlo metroológico dos reservatórios apenas indica que o valor de decisão para a aprovação ou reprovação das verificações é determinada pelo valor de  $\pm 0,2\%$  de incerteza no processo de medição para a determinação da capacidade dos reservatórios e não a metodologia utilizada no presente estudo.

Ou seja, são as especificações legais que determinam se o reservatório se encontra sob controlo metroológico e não o valor hipotético mencionado nem variação de capacidade observada na nossa análise, pois este tipo de análise e especificações de limite usadas não se encontram legisladas.

Seria interessante saber a opinião das entidades envolvidas no controlo metroológico dos reservatórios e as próprias empresas que detêm reservatórios acerca dos resultados e saber quais os valores que são considerados como aceitáveis na variação da capacidade entre verificações com base neste trabalho. Evidenciamos ainda que apesar de ocorrerem variações na capacidade entre verificações que isso não determina a não utilização dos reservatórios, mas apenas as condições de segurança e operacionais destes além das obrigações legais.

Ainda com base na amostra, foi realizado um teste não paramétrico para verificar se os valores da variação absoluta dos reservatórios da amostra pertencem a uma mesma distribuição através da comparação das medianas dos dados dos reservatórios, conforme ilustrado na figura 6.1.

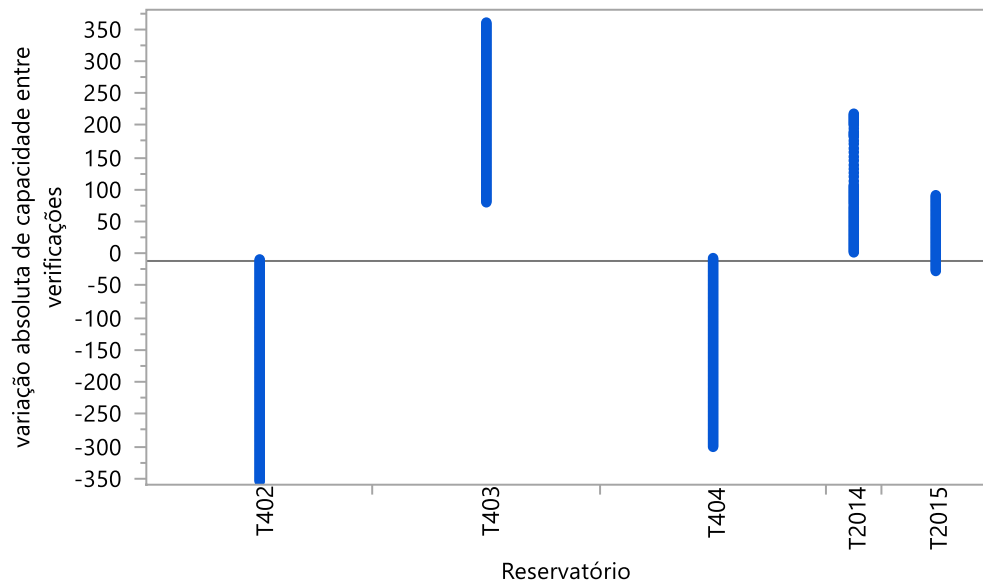


Figura 6.1 - Teste de Kruskal-Wallis à variação absoluta dos reservatórios

Com recurso ao *software* rejeitou-se a hipótese de que as medianas provinham de uma mesma distribuição, logo os comportamentos da variação absoluta da capacidade entre cada par de reservatório não são idênticos nem têm uma mesma distribuição.

Realizou-se o mesmo teste para a variação relativa percentual da capacidade conforme ilustrado na figura 6.2

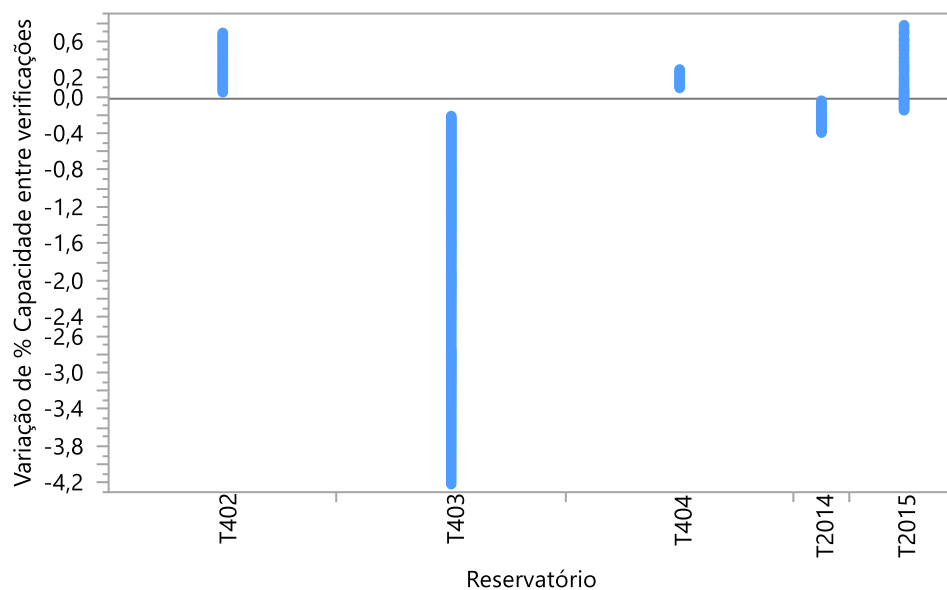


Figura 6.2 - Teste de Kruskal-Wallis à variação relativa percentual dos reservatórios



Para a variação relativa percentual da capacidade entre verificações, obteve-se um resultado análogo, logo os comportamentos da variação de capacidade entre os reservatórios não são idênticos nem provêm de uma mesma distribuição.

Foi realizado este teste por forma a tentar extrapolar este resultado da amostra para uma população de reservatórios, mas, como se constatou, verifica-se que, em nenhum dos reservatórios da amostra, as distribuições da variação absoluta da capacidade e da variação relativa percentual da capacidade têm um comportamento idêntico, e constata-se que as distribuições dos reservatórios do mesmo modelo não são idênticas, impossibilitando, dessa forma, uma inferência, determinando que só podemos verificar que, para a amostra recolhida, existe variação da capacidade e não para uma mesma população de reservatórios do mesmo modelo, independentemente do tipo de reservatórios e procedimento metrológico usado na verificação.

Através da literatura consultada para o caso de estudo, verificou-se que por vezes existe a necessidade de recalibração dos reservatórios, sendo a recalibração o processo de medição do reservatório quando é estabelecido que as medições originais não definem as dimensões do reservatório de forma precisa, originando uma remedição completa do reservatório e recálculo da tabela de calibração, de acordo com as novas medidas, ou apenas a recalculação das tabelas de sondagem que consiste no recálculo da tabela de sondagem quando as variáveis de operação se alteram, por exemplo, a densidade do produto, temperatura de armazenamento, altura de referência, modificação do lastro, sendo o recálculo baseado em medições prévias das dimensões do reservatório.

Sendo apresentadas, através dos diagramas de Ishikawa, as causas que originam a necessidade de recalibração ou recálculo, de acordo com o indicado na ISO 7507-1 nas figuras 6.3 e 6.4.

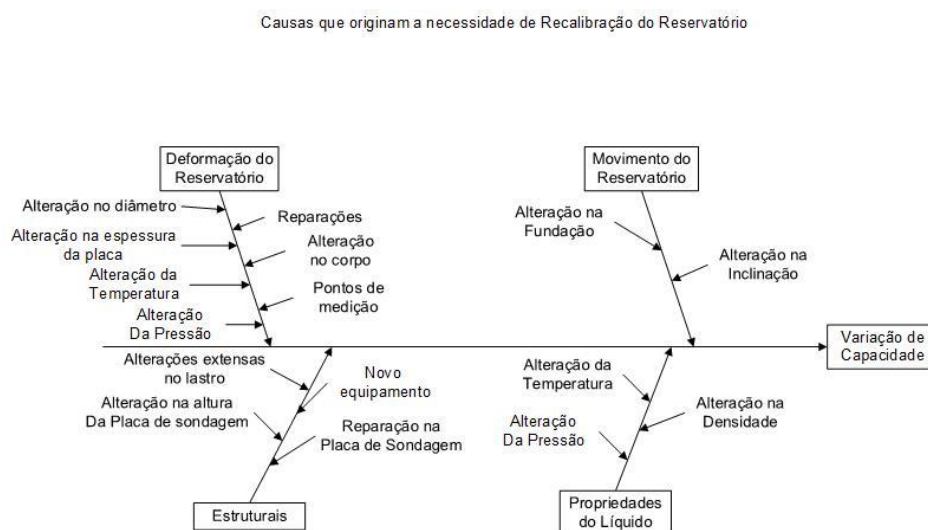


Figura 6.3 - Diagrama de causas e efeito de recalibração de reservatórios

Com base nos resultados obtidos, poderíamos tentar perceber se alguma destas causas identificadas estão na origem da variação da capacidade observada entre as verificações para os diversos reservatórios, tendo em atenção que em nenhum dos reservatórios existiu a alteração do líquido contido nem alteração das variáveis de operação usadas para o cálculo da tabela volumétrica, de acordo com o indicado nos relatórios de verificação.

Face ao indicado é expectável que tenham ocorrido algumas alterações identificadas como as causas da variação da capacidade e dos resultados obtidos.

Seria interessante verificar se realmente ocorreu alguma alteração das descritas nos diagramas causa-efeito entre as verificações nos reservatórios da amostra. Contudo, não temos dados acerca da alteração destas variáveis nem sabemos se estes dados são recolhidos ao longo do tempo e mantidos numa base de dados para eventuais estudos acerca da variação de capacidade dos reservatórios.

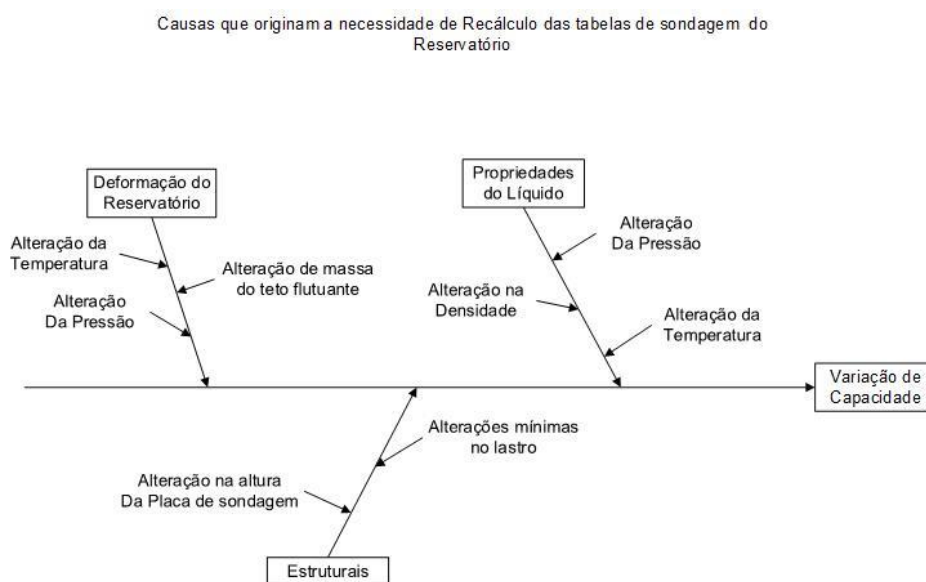


Figura 6.4 - Diagrama de causas e efeito de recálculo de reservatórios

Apesar de constatado que existem alterações na capacidade dos reservatórios entre verificações e a necessidade de no controlo metrológico ser necessário a remedição do reservatório ou recálculo da tabela volumétrica por forma a ser obtido um parecer favorável nas verificações, como indicado, esse parecer não é determinado através de comparação de resultados de capacidade em verificações anteriores, e que não existem limites máximos ou mínimos definidos para a variação absoluta e variação relativa percentual da capacidade ou variação de capacidade ao longo da tabela de sondagem, existindo, sim, legalmente um limite definido relativamente ao erro das incertezas no processo de verificação metrológica presente. Poderíamos sugerir que seria interessante, do ponto de vista do controlo metrológico, hipoteticamente utilizar-se os resultados da variação de capacidade observada entre verificações com limites definidos para a avaliação de conformidade.

Uma das sugestões que gostaríamos superficialmente de abordar seria a da necessidade de recolha, armazenamento e comunicação de dados de interesse metrológico, por forma a realizar-se alguns estudos relevantes, por exemplo, para determinar se houve alteração de variáveis que tenham efeito na variação de capacidade, ou até mesmo para facilitar uma análise semelhante à realizada na presente dissertação, apesar de essa sugestão ser transversal à Metrologia e não só ao presente estudo.

Com recurso a novas tecnologias, como, por exemplo, a *Cloud*, seria possível armazenar dados recolhidos em sensores periodicamente que seriam automaticamente armazenados em base de dados na *Cloud* através de tecnologias da *Internet of Things*, permitindo uma comunicação máquina para máquina, para posterior comunicação, máquina para homem, com recurso a software para a visualização, tratamento de dados e relatórios, esta base de dados e ficheiros extraídos ou processados diretamente da *Cloud*, deveriam poder ser acedidos pelos diversos *stakeholders* nos processos metrológicos, por exemplo, os laboratórios nacionais ou entidades certificadas para a realização de verificações e os seus clientes.

Por exemplo, se fossem partilhados informaticamente os relatórios de verificação metrológica dos reservatórios e as tabelas volumétricas, em determinado formato passível de acesso fácil de leitura por parte de um software, especificamente criado, a esses dados seria hipoteticamente possível automatizar o processo de análise da presente dissertação ou outras eventuais análises.

Uma das supostas vantagens das tecnologias indicadas da *Cloud* e *Internet of Things* e as bases de dados é precisamente a de permitir através de desenvolvimento de software específico a automatização de processos, que, além de agilizar operações, permitem ajudar à tomada de decisões e à celeridade na tomada de decisões com o interesse de salvaguardar o interesse público.

Evidencia-se ainda que a variação de capacidade poderá ainda ser suscetível de ocorrer também devido ao facto do procedimento de medição utilizado e instrumentos utilizados, não permitirem obter a determinação do valor de capacidade entre verificações de forma mais exata, seria interessante realizar-se um estudo semelhante ao realizado com outro método de medição de reservatórios ou outro instrumento de medição que não o teodolito por forma a comparar-se os resultados de um método e instrumento utilizados com outro, por forma a determinar qual deles obtém resultados mais satisfatórios para a determinação e variação da capacidade.

Uma outra sugestão visa a criação de um novo instrumento de medição com recurso a sensores *quantum*, cuja tecnologia para as medições é com base em fotões e obtém resultados muito precisos e a uma escala diminuta, com esta tecnologia também é possível criar-se desenhos tridimensionais de estruturas, nomeadamente de reservatórios, com elevada exatidão. Esta

tecnologia permite ainda a transmissão de dados por diversos meios sem recurso a fios, seria interessante também com recurso à metodologia da teoria da resolução inventiva de problemas criar-se um novo instrumento de medição para os reservatórios, esta é uma tecnologia já existente no mercado em forma de alguns sensores e software de desenho tridimensional, mas não aplicada à medição de volume de reservatórios nem a um sistema em nuvem de recolha, comunicação e armazenamento de dados no âmbito da metrologia.

## 7. Conclusões

Na dissertação, abordou-se um estudo de caso enquadrado na área da metrologia legal relativo aos reservatórios de armazenamento fixo, que são partes constituintes das infraestruturas e integrantes das operações em diversas indústrias. O objetivo da dissertação resume-se em verificar se ocorre a variação da capacidade do reservatório entre verificações.

Tendo em conta que o valor da capacidade dos reservatórios influencia a capacidade produtiva, de armazenamento e a consequente resposta às necessidades da indústria e comunidades relativamente aos líquidos contidos nos reservatórios, por exemplo no caso de situações de escassez de algum dos líquidos contidos nos reservatórios é importante determinar quais os valores do volume efetivamente armazenado.

No presente estudo, constatou-se que existem diferenças nos valores de capacidade entre verificações e que ocorre variação da capacidade nos reservatórios entre verificações com base na amostra recolhida.

Nos reservatórios de teto flutuante, ocorre em média uma variação absoluta de  $-145,6 \text{ dm}^3$  com um desvio padrão de  $43,47 \text{ dm}^3$  no reservatório T2014 e uma variação absoluta média de  $-43,6 \text{ dm}^3$  e desvio padrão de  $30,06 \text{ dm}^3$  no reservatório T2015 entre os valores de capacidade da verificação de 2018 e a verificação de 2010. Verifica-se que os valores médios da variação absoluta da capacidade entre verificações encontram-se dentro do intervalo de 0,2% da capacidade nominal do modelo de reservatório.

Já a variação relativa percentual da capacidade entre verificações assume um valor médio de  $-0,161\%$  e  $-0,05\%$  no reservatório T2015 e T2014 e ambos os reservatórios apresentam um desvio padrão de 0,08% aproximadamente. Verifica-se que a variação relativa percentual ao longo da altura e dos seus valores médios de capacidade entre verificações não estão de acordo com o valor rigoroso dos intervalos de 0,01% e 0,05%, que é indicado como significativo na ISO 7507-1 apesar de estas estarem dentro do limite hipotético de  $\pm 0,2\%$  da capacidade nominal dos reservatórios.

Nos reservatórios de teto fixo, observou-se uma média da variação absoluta, de uma verificação para a outra de  $145,66 \text{ dm}^3$ ,  $-175,81 \text{ dm}^3$  e  $125,93 \text{ dm}^3$  do reservatório T402, T403 e T404 com os respetivos desvios padrão de  $116,86 \text{ dm}^3$ ,  $83,48 \text{ dm}^3$  e  $92,23 \text{ dm}^3$ , e cujos valores médios de variação absoluta encontram-se dentro do intervalo de  $\pm 0,2\%$  da capacidade nominal do modelo de reservatório.

A variação relativa percentual da capacidade entre verificações assume um valor médio de 0,16%,  $-0,33\%$  e 0,15% com um desvio padrão de 0,07%, 0,39% e 0,04% para os reservatórios

T402, T403 e T404, cujos valores não se encontram no intervalo de 0,01% e, 0,05% estipulado e mais exigente e rigoroso da variação de capacidade dos reservatórios, mas que apesar disso os valores médios do T402 e T404 se encontram dentro do limite de  $\pm 0,2\%$  e apenas o valor médio do T403 não se encontra dentro desse intervalo.

Estes valores de variação terão provavelmente origem na deformação e movimento do reservatório, ou alterações estruturais do reservatório e propriedades do líquido resultando nos valores de variação entre as verificações do reservatório.

Enfatizamos que é normal e expectável que ocorram alterações nos reservatórios ao longo do tempo, por exemplo, deformações no corpo do reservatório, movimento da fundação do reservatório e etc. devido a fenómenos físicos, que como mencionado nos diagramas de Ishikawa são causas da variação da capacidade nos reservatórios.

Sendo que, devido a esse fato, os resultados obtidos e a constatação de que ocorre variação da capacidade nos reservatórios eram resultados previamente esperados.

Concluimos ainda que nem a distribuição dos valores da variação absoluta como os da variação relativa percentual correspondem a distribuições normais e são não paramétricas e nenhum dos reservatórios apresenta semelhanças de comportamento do resultado de variação absoluta e variação relativa percentual entre verificações.

As suas distribuições não são idênticas entre si, nem quando a verificação metrológica é efetuada em reservatórios do mesmo modelo.

Verificou-se ainda que existe uma correlação acentuada dos valores das diferenças com a altura do corpo do reservatório, sendo mais evidente essa relação nos reservatórios de teto fixo.

Observou-se ainda que será necessário elaborar-se algum tipo de estudo que permita evidenciar quais as causas que originam este tipo de comportamento e que originam esta variação de valores entre as verificações aos reservatórios quando se usa o mesmo método de verificação, ou ainda efetuar-se um estudo comparativo dos resultados de um método de verificação metrológica em relação a outro, ou a necessidade da utilização de novos instrumentos de verificação metrológica, podendo originar a criação de um novo instrumento ou método que permita obter resultados com menor variação entre as verificações.

## Referências bibliográficas

Altman, D. & Bland, J., (1983). Measurement in Medicine: The Analysis of Method Comparison Studies. *The Statistician*, vol. 32(3): pp. 307.-317. doi:10.2307/2987937

BIPM, (2018a). *Measurement Units*. Saint-Cloud, France: BIPM – Bureau International des Poids et Mesures. Acedido em 29 de Agosto de 2018 (<https://www.bipm.org/en/measurement-units/>).

BIPM, (2018b.) *Worldwide Metrology*. Saint-Cloud, France: BIPM – Bureau International des Poids et Mesures. Acedido em 24 de Outubro de 2018 (<https://www.bipm.org/en/worldwide-metrology/>).

BIPM, (2019). *The International System of Units (SI)*. Saint-Cloud, France: BIPM – Bureau International des Poids et Mesures. Acedido em 28 de Janeiro de 2019 (<https://www.bipm.org/en/the-si/>).

Birch, J., (2003). *Benefit of Legal Metrology for the Economy and Society*. Paris, France: OIML - Organisation Internationale De Métrologie Légale.

Birkeland, K., (1998). *Legal Metrology at the dawn of the 21st century*. Paris, France: OIML – Organisation Internationale De Métrologie Légale.

Bland, J. & Altman. D., (1986). Statistical Methods for Assessing Agreement Between Two Methods of Clinical Measurement. *Lancet*, vol. 1(8476), pp. 307–10. doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(86\)90837-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(86)90837-8)

Bland, J. & Altman. D., (1999). Measuring Agreement in Method Comparison Studies. *Statistical Methods in Medical Research*, vol 8(2), pp.135–60. doi: <https://doi.org/10.1177/096228029900800204>

Brighton, P., (2015). Revised NYS Regulations Governing Bulk Storage Tanks by NYS Department of Environmental Conservation». New York, USA: Walden. Acedido a 9 de Agosto de 2019 (<https://waldenenvironmentalengineering.com/environmental-services-blog/revised-nys-regulations-governing-bulk-storage-tanks-nys-department-environmental-conservation/>).

Cabral, P., (1994). *Metrologia Industrial uma função de Gestão da Qualidade*. Lumiar, Portugal:

Emerson, (2019a). *Magtech Magnetic Level Indicator*. ST. Louis, USA: Emerson Electric Co. Acedido em 5 de Fevereiro de 2019 (<https://www.emerson.com/en-us/catalog/magtech-magnetic-level-indicator>).

Emerson, (2019b). *Rosemount 3051S Coplanar Pressure Transmitter*. ST. Louis, USA: Emerson Electric Co. Acedido em 6 de Fevereiro de 2019 (<https://www.emerson.com/pt-br/catalog/automation-solutions-6/measurement-instrumentation-6/tank-gauging-6/rosemount-sku-3051s-coplanar-pressure-transmitter-pt-br>).

Emerson, (2019c). *Rosemount 644 Temperature Transmitter*. ST. Louis, USA: Emerson Electric Co. Acedido em 6 de Fevereiro de 2019 (<https://www.emerson.com/da-dk/catalog/rosemount-sku-644-temperature-transmitter-da-dk>).

EURAMET, (2015). *STR-n02, Uniform communication interfaces in metrology for the Internet of Things*. Bundesallee, Deutschland: EURAMET – European Association of National Metrology.

Filipe, E., (2015). *O Sistema Nacional de Metrologia: O Novo Sistema Internacional de Unidades*. Lisboa, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade.

Guedes, D., (2014). *Análise Metrológica de Acabamento de Superfícies Aplicada a componentes Mecânicos*. Caparica: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre.

Hartwig, (2019). *measuring - Hartwig Instruments*. Rotterdam, Netherlands: Hartwig. Acedido a 9 de Agosto de 2019 (<https://www.hartwig-instruments.com/measuring>).

Howarth, P., (2008). *Metrology - in Short: EURAMET Project No. 1011*. 3. ed. Albertslund, Dinamarca: Schultz Grafisk.

IPAC, (2015). *OGC010 - Avaliação da Incerteza de Medição em Calibração*. Almada, Portugal: IPAC - Instituto Português de Acreditação.

IPQ, (2012). *VIM2012- Vocabulário Internacional de Metrologia*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade.

IPQ, (2016). *História dos Pesos e Medidas em Portugal*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade.

IPQ, (2017a). *Formação sobre Normalização: Curso para Vogais de Comissões Técnicas*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade.



IPQ, (2017b). *VIML 2017- Vocabulário Internacional Termos de Metrologia Legal*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade.

IPQ, (2018a). *Aprovação de Modelo*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 29 de Agosto de 2018

(<http://www1.ipq.pt/pt/metrologia/scontrolometrologico/saprovacaomodelo/Pages/PesquisarModelosInstrumentos.aspx>).

IPQ, (2018b). *DMET- Enquadramento Internacional*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 24 de Outubro de 2018

(<http://www1.ipq.pt/pt/metrologia/apresentacao/repint/Pages/DMET-RepInt.aspx>).

IPQ, (2018c). *IPQ*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 19 de Agosto de 2018 (<http://www1.ipq.pt/PT/IPQ/Pages/IPQ.aspx>).

IPQ, (2018d). *IPQ-DMET-Atribuições*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 24 de Outubro de 2018

(<http://www1.ipq.pt/pt/metrologia/apresentacao/atribuicoes/Paginas/Atribuicoes.aspx>).

IPQ, (2018e). *IPQ-DMET-Domínios de Atividade*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 29 de Agosto de 2018

(<http://www1.ipq.pt/pt/metrologia/apresentacao/dominios/Paginas/Dominios.aspx>).

IPQ, (2018f). *IPQ-DMET-Objetivos*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 24 de Outubro de 2018

(<http://www1.ipq.pt/pt/metrologia/apresentacao/objetivos/Paginas/Objetivos.aspx>).

IPQ, (2018g). *IPQ-DMET-Sistema Internacional*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 29 de Agosto de 2018

(<http://www1.ipq.pt/PT/Metrologia/Pages/SI01.aspx>).

IPQ, (2018h). *IPQ-DMET-UMCA Atribuições*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 29 de Agosto de 2018

(<http://www1.ipq.pt/PT/Metrologia/Pages/UMCA.aspx>).

IPQ, (2018i). *IPQ-DMET-UML Controlo Metrológico*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 29 de Agosto de 2018

(<http://www1.ipq.pt/pt/metrologia/scontrolometrologico/Pages/CM.aspx>).

- IPQ, (2018j). *IPQ-DMET-UML Entidades Qualificadas*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 29 de Agosto de 2018 (<http://www1.ipq.pt/pt/metrologia/squalificacao/Pages/QE.aspx>).
- IPQ, (2018l). *IPQ-DMET-UML Verificações Metrológicas*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 29 de Agosto de 2018 (<http://www1.ipq.pt/pt/metrologia/scontrolometrologico/svermetrologicas/Pages/VM.aspx>).
- IPQ, (2018m). *IPQ-UML-Regulamentos Publicados*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 29 de Agosto de 2018 (<http://www1.ipq.pt/pt/metrologia/scontrolometrologico/regpub/Pages/RegPub.aspx>).
- IPQ, (2018n). *Laboratório De Volume E Caudal*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 25 de Junho de 2019 (<http://www1.ipq.pt/pt/metrologia/svolume/Pages/LVO.aspx>).
- IPQ, (2018o). *Legislação*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 19 de Agosto de 2018 ([http://www1.ipq.pt/pt/ipq/legislacao/Pages/Legislacao\\_view.aspx](http://www1.ipq.pt/pt/ipq/legislacao/Pages/Legislacao_view.aspx)).
- IPQ, (2018p). *Metrologia*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 29 de Agosto de 2018 (<http://www1.ipq.pt/pt/metrologia/apresentacao/Pages/Metrologia.aspx>).
- IPQ, (2018q). *Normalização*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 19 de Dezembro de 2018 (<http://www1.ipq.pt/PT/Normalizacao/Pages/Normalizacao.aspx>).
- IPQ, (2018r). *Orgânica e atribuições*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 19 de Agosto de 2018 ([http://www1.ipq.pt/pt/ipq/organica/Pages/Organica\\_atribuicoes.aspx](http://www1.ipq.pt/pt/ipq/organica/Pages/Organica_atribuicoes.aspx)).
- IPQ, (2018s). *Reconhecimento Internacional*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 29 de Agosto de 2018 (<http://www1.ipq.pt/pt/metrologia/apresentacao/reconhecimento/Paginas/Reconhecimento.aspx>).
- IPQ, (2018t). *Sistema Internacional*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 29 de Agosto de 2018 (<http://www1.ipq.pt/PT/Metrologia/Pages/SI00.aspx>).
- IPQ, (2018u). *Sistema Português da Qualidade*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 19 de Agosto de 2018 (<http://www1.ipq.pt/PT/SPQ/Pages/SPQ.aspx>).

IPQ, (2019). *Redefinição do Sistema Internacional de Unidades*. Almada, Portugal: IPQ - Instituto Português da Qualidade. Acedido em 28 de Janeiro de 2019 (<http://www1.ipq.pt/PT/Metrologia/Pages/26CGPM.aspx>).

JME, (2019). *Morrison Bros Model 1218 System Console Monitors up to 4 Tanks*. Milwaukee, USA: JME - John M. Ellsworth Company Inc. Acedido em 5 de Fevereiro de 2019ac (<https://www.jmesales.com/morrison-bros-model-1218-system-console-monitors-up-to-4-tanks/>).

Joseph, M., (2019). *Storage Tank- Breather Valves, Flame Arresters, Emergency Relief Valves and Tank Blanketing Valves*. Saint Austell: UK: Assentech Limited. Acedido em 6 de Fevereiro de 2019 (<http://bursting-discs.co.uk/storage-tank-breather-valves-flame-arresters-emergency-relief-valves-and-tank-blanketing-valves/>).

Kabir Instruments & Technology, (2019). *Welcome to Kabir Instruments & Technology*. Vadodara, India: Kabir Instruments & Technology. Acedido a 9 de Agosto de 2019 (<http://kabirinstruments.com/>).

ME, (2002). *Decreto-Lei 4/2002*, Aprova o novo enquadramento jurídico do Sistema Português da Qualidade. Diário da República n.º 3/2002, Série I-A, pp. 28 – 35, ME - Ministério da Economia.

ME, (2004). *Decreto-Lei 140/2004*, Aprova a reestruturação do Instituto Português da Qualidade. Diário da República n.º 134/2004, Série I-A, pp. 3614 – 3619, ME - Ministério da Economia.

ME, (2014). *Decreto-Lei 80/2014*, Procede à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 71/2012. Diário da República n.º 93/2014, Série I, 2836 – 2837, ME - Ministério da Economia.

MEE, (2012). *Decreto-Lei 71/2012*, Aprova a orgânica do Instituto Português da Qualidade. Diário da República n.º 58/2012, Série I, pp. 1316 – 1319, MEE - Ministério da Economia e do Emprego.

MEI, (2006). *Decreto-Lei 192/2006*, Transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 2004/22/CE. Diário da República n.º 186/2006, Série I, pp. 7009 – 7031, MEI - Ministério da Economia e da Inovação

MEI, (2007). *Decreto-Lei 142/2007*, Aprova a orgânica do Instituto Português da Qualidade. Diário da República n.º 82/2007, Série I, pp. 2698 – 2701, MEI - Ministério da Economia e da Inovação

MEI, (2007). *Portaria 1541/2007*, Aprova o Regulamento dos Reservatórios de Armazenamento de Instalação Fixa. Diário da República n.º 235/2007, Série I, pp. 8773 – 8775, MEI - Ministério da Economia e da Inovação.

MEID, (2010). *Decreto-Lei 128/2010*, Actualiza o sistema de unidades de medida legais, transpondo a Directiva n.º 2009/3/CE. Diário da República n.º 234/2010, Série I, pp. 5444 – 5454, MEID - Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento.

MEID, (2011). *Decreto-Lei 23/2011*, Assegura a execução das obrigações decorrentes do Regulamento (CE) n.º 765/2008 Diário da República n.º 30/2011, Série I, pp. 744 – 746, MEID - Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento.

MFE, (2014). *Portaria n.º 258/2014*, Primeira alteração à *Portaria n.º 23/2013*. Diário da República n.º 240/2014, Série I, pp. 6064 – 6064, MFE - Ministérios das Finanças e da Economia.

MFEE, (2013). *Portaria 23/2013*, Aprova os estatutos do Instituto Português da Qualidade. Diário da República n.º 17/2013, Série I, pp. 478 – 480, MFEE - Ministérios das Finanças e da Economia e do Emprego.

MIC, (1986). *Decreto-Lei 183/86*, Cria o Instituto Português da Qualidade e aprova a sua lei orgânica. Diário da República n.º 158/1986, Série I, pp. 1687 – 1694, MIC - Ministério da Indústria e Comércio.

MIE, (1983). *Decreto-Lei 234/93*, Estabelece o Sistema Português da Qualidade. Diário da República n.º 153/1993, Série I-A, pp. 3640 – 3645, MIE - Ministério da Indústria e Energia.

MIE, (1990a). *Decreto-Lei 291/90*, Estabelece o regime de controlo metrológico de métodos e instrumentos de medição Diário da República n.º 218/1990, Série I, pp. 3879 – 3882, MIE - Ministério da Indústria e Energia.

MIE, (1990b). *Portaria 962/90*, Aprova o Regulamento Geral do Controlo Metrológico. Diário da República n.º 233/1990, Série I, pp. 4182 – 4185, MIE - Ministério da Indústria e Energia.

MIE, (1992). *Portaria 953/92*, Aprova o Regulamento do Controlo Metrológico dos Reservatórios de Armazenamento de Instalação Fixa. Diário da República n.º 229/1992, Série I-B, pp. 4661 – 4663, MIE - Ministério da Indústria e Energia.

MIEE, (1983). *Decreto-Lei 165/83*. Organiza o Sistema Nacional de Gestão da Qualidade. Diário da República n.º 96/1983, Série I, pp. 1491 – 1498, MIEE - Ministério da Indústria, Energia e Exportação.

O'brien, E., Atkins, N., Mee, F. & O'malley, K., (1993). Evaluation of Blood Pressure Measuring Devices. *Clinical and Experimental Hypertension*, vol. 15(6), pp. 1087–97. doi: <https://doi.org/10.3109/10641969309037096>

OIML, (2008a). *OIML D31*, General Requirements for Software Controlled Measuring Instruments. . Paris, France: OIML - Organisation Internationale De Métrologie Légale.

OIML, (2008b). *OIML G1-100*, Evaluation of Measurement Data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Paris, France: OIML - Organisation Internationale De Métrologie Légale.

OIML, (2008c). *OIML R71*, Fixed Storage Tanks. General Requirements. Paris, France: OIML - Organisation Internationale De Métrologie Légale.

OIML, (2008d). *OIML R85*, Automatic level gauges for measuring the level of liquid in stationary storage tanks Part 1: Metrological and technical requirements Part 2: Metrological control and tests. Paris, France: OIML - Organisation Internationale De Métrologie Légale.

OIML, (2008e). *OIML R85*, Automatic level gauges for measuring the level of liquid in stationary storage tanks Part 3: Report format for type evaluation. Paris, France: OIML - Organisation Internationale De Métrologie Légale.

OIML, (2010). *OIML R120*, Standard capacity measures for testing measuring systems for liquids other than water. Paris, France: OIML - Organisation Internationale De Métrologie Légale.

OIML, (2011). *OIML D16*, Principles of assurance of metrological control. Paris, France: OIML - Organisation Internationale De Métrologie Légale.

ORCA Pennel & Flipo, (2019). *Tank: We Innovate, You Progress*. Belgique: Orca. Acedido a 9 de Agosto de 2019 (<https://orca.eu/en/solution/tank/>).

PE, (2004). *Diretiva nº 2004/22/CE*, Relativa aos instrumentos de medição. Brussels, Belgique: PE - Parlamento Europeu

PE, (2008). *Regulamento (CE) Nº 765/2008*, Estabelece os requisitos de acreditação e fiscalização do mercado relativos à comercialização de produtos. Brussels, Belgique: PE - Parlamento Europeu

Pereira, Z. & Requeijo, J., (2012). *Qualidade: planeamento e controlo estatístico de processos*. Caparica, Portugal: FFCT-Universidade Nova de Lisboa. ISBN 978-989-97721-0-6

Semtech, (2019). Tank Level Monitoring. Camarillo, USA: Semtech. Acedido em 18 de Fevereiro de 2019 ([https://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/app-briefs/Semtech\\_IndCntrl\\_TankLevel\\_AppBrief-FINAL.pdf](https://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/app-briefs/Semtech_IndCntrl_TankLevel_AppBrief-FINAL.pdf)).

Sousa, C., (2008a). *Categorias da Metrologia*. Porto, Portugal: CATIM -Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica.

Sousa, C., (2008b). *SPQ - Sistema Português Da Qualidade*. Porto, Portugal: CATIM -centro De Apoio Tecnológico À Indústria Metalomecânica.

Sousa, C., (2010). *Metrologia Notas Históricas*. Porto, Portugal: CATIM -centro De Apoio Tecnológico À Indústria Metalomecânica.

STI/SPFA, (2019). *Steel Tank Institute/Steel Plate Fabricators Association*. Illinois, USA: STI/SPFA. Acedido a 9 de Agosto de 2019 (<https://www.steeltank.com/>).

Thielmann, (2019). *Storage Tanks*. Houston, USA: Thielmann. Acedido em 4 de Fevereiro de 2019 (<https://thielmann.com/en/products/storage-tanks>).

Waltech India, (2019). *Tank Dip Rod For Measuring, Indiamart.Com*. Uttar Pradesh, India: Acedido a 9 de Agosto de 2019 (<https://www.indiamart.com/proddetail/tank-dip-rod-for-measuring-19996003233.html>).

WELMEC, (2017). *WELMEC Guides*. WELMEC. Acedido em 29 de Agosto de 2018 (<https://www.welmec.org/documents/guides/?L=0>).

## **Anexos**

**Anexo I – Excerto de tabela de sondagem –Verificação 2010 - T2014**

Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)
<b>0</b>	<b>4 298</b>	<b>70</b>	<b>7 239</b>	<b>140</b>	<b>10 181</b>	<b>210</b>	<b>13 131</b>	<b>280</b>	<b>16 082</b>	<b>350</b>	<b>19 034</b>
1	4 340	71	7 281	141	10 223	211	13 173	281	16 124	351	19 076
2	4 382	72	7 323	142	10 265	212	13 215	282	16 166	352	19 118
3	4 424	73	7 366	143	10 307	213	13 257	283	16 208	353	19 160
4	4 466	74	7 408	144	10 349	214	13 299	284	16 251	354	19 202
5	4 508	75	7 450	145	10 391	215	13 342	285	16 293	355	19 244
6	4 550	76	7 492	146	10 433	216	13 384	286	16 335	356	19 287
7	4 592	77	7 534	147	10 475	217	13 426	287	16 377	357	19 329
8	4 634	78	7 576	148	10 517	218	13 468	288	16 419	358	19 371
9	4 676	79	7 618	149	10 559	219	13 510	289	16 461	359	19 413
<b>10</b>	<b>4 718</b>	<b>80</b>	<b>7 660</b>	<b>150</b>	<b>10 601</b>	<b>220</b>	<b>13 552</b>	<b>290</b>	<b>16 504</b>	<b>360</b>	<b>19 455</b>
11	4 760	81	7 702	151	10 643	221	13 595	291	16 546	361	19 497
12	4 802	82	7 744	152	10 686	222	13 637	292	16 588	362	19 539
13	4 844	83	7 786	153	10 728	223	13 679	293	16 630	363	19 581
14	4 886	84	7 828	154	10 770	224	13 721	294	16 672	364	19 623
15	4 928	85	7 870	155	10 812	225	13 763	295	16 714	365	19 665
16	4 970	86	7 912	156	10 854	226	13 805	296	16 757	366	19 707
17	5 012	87	7 954	157	10 896	227	13 847	297	16 799	367	19 750
18	5 054	88	7 996	158	10 938	228	13 890	298	16 841	368	19 792
19	5 096	89	8 038	159	10 981	229	13 932	299	16 883	369	19 834
<b>20</b>	<b>5 138</b>	<b>90</b>	<b>8 080</b>	<b>160</b>	<b>11 023</b>	<b>230</b>	<b>13 974</b>	<b>300</b>	<b>16 925</b>	<b>370</b>	<b>19 876</b>



## Anexo II - Excerto de tabela de sondagem –Verificação 2018 - T2014

Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)
	<b>4 296</b>	<b>70</b>	<b>7 219</b>	<b>140</b>	<b>10 141</b>	<b>210</b>	<b>13 086</b>	<b>280</b>	<b>16 031</b>	<b>350</b>	<b>18 977</b>
1	4 338	71	7 261	141	10 183	211	13 128	281	16 073	351	19 019
2	4 380	72	7 303	142	10 225	212	13 170	282	16 115	352	19 061
3	4 422	73	7 344	143	10 267	213	13 212	283	16 157	353	19 103
4	4 463	74	7 386	144	10 309	214	13 254	284	16 200	354	19 145
5	4 505	75	7 428	145	10 351	215	13 296	285	16 242	355	19 187
6	4 547	76	7 470	146	10 393	216	13 338	286	16 284	356	19 229
7	4 589	77	7 511	147	10 435	217	13 380	287	16 326	357	19 271
8	4 631	78	7 553	148	10 477	218	13 422	288	16 368	358	19 313
9	4 673	79	7 595	149	10 519	219	13 464	289	16 410	359	19 355
<b>10</b>	<b>4 714</b>	<b>80</b>	<b>7 636</b>	<b>150</b>	<b>10 561</b>	<b>220</b>	<b>13 507</b>	<b>290</b>	<b>16 452</b>	<b>360</b>	<b>19 397</b>
11	4 756	81	7 678	151	10 603	221	13 549	291	16 494	361	19 439
12	4 798	82	7 720	152	10 645	222	13 591	292	16 536	362	19 481
13	4 840	83	7 762	153	10 687	223	13 633	293	16 578	363	19 523
14	4 881	84	7 803	154	10 729	224	13 675	294	16 620	364	19 565
15	4 923	85	7 845	155	10 771	225	13 717	295	16 662	365	19 607
16	4 965	86	7 887	156	10 814	226	13 759	296	16 705	366	19 649
17	5 007	87	7 929	157	10 856	227	13 801	297	16 747	367	19 691
18	5 048	88	7 970	158	10 898	228	13 843	298	16 789	368	19 733
19	5 090	89	8 012	159	10 940	229	13 885	299	16 831	369	19 775
<b>20</b>	<b>5 132</b>	<b>90</b>	<b>8 054</b>	<b>160</b>	<b>10 982</b>	<b>230</b>	<b>13 927</b>	<b>300</b>	<b>16 873</b>	<b>370</b>	<b>19 817</b>

### Anexo III – Excerto de tabela de sondagem –Verificação 2010 - T2015

Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)
	<b>3 452</b>	<b>70</b>	<b>6 393</b>	<b>140</b>	<b>9 334</b>	<b>210</b>	<b>12 282</b>	<b>280</b>	<b>15 233</b>	<b>350</b>	<b>18 184</b>
1	3 494	71	6 435	141	9 376	211	12 324	281	15 275	351	18 226
2	3 536	72	6 477	142	9 418	212	12 366	282	15 317	352	18 268
3	3 578	73	6 519	143	9 460	213	12 408	283	15 359	353	18 311
4	3 620	74	6 561	144	9 503	214	12 450	284	15 401	354	18 353
5	3 662	75	6 603	145	9 545	215	12 492	285	15 443	355	18 395
6	3 704	76	6 645	146	9 587	216	12 535	286	15 485	356	18 437
7	3 746	77	6 687	147	9 629	217	12 577	287	15 528	357	18 480
8	3 788	78	6 729	148	9 671	218	12 619	288	15 570	358	18 522
9	3 830	79	6 771	149	9 713	219	12 661	289	15 612	359	18 564
<b>10</b>	<b>3 872</b>	<b>80</b>	<b>6 813</b>	<b>150</b>	<b>9 755</b>	<b>220</b>	<b>12 703</b>	<b>290</b>	<b>15 654</b>	<b>360</b>	<b>18 606</b>
11	3 914	81	6 855	151	9 797	221	12 745	291	15 696	361	18 648
12	3 956	82	6 897	152	9 839	222	12 788	292	15 738	362	18 691
13	3 998	83	6 939	153	9 881	223	12 830	293	15 781	363	18 733
14	4 040	84	6 981	154	9 923	224	12 872	294	15 823	364	18 775
15	4 082	85	7 023	155	9 965	225	12 914	295	15 865	365	18 817
16	4 124	86	7 065	156	10 007	226	12 956	296	15 907	366	18 859
17	4 166	87	7 107	157	10 049	227	12 998	297	15 949	367	18 901
18	4 208	88	7 149	158	10 091	228	13 040	298	15 991	368	18 943
19	4 250	89	7 192	159	10 133	229	13 083	299	16 034	369	18 985
<b>20</b>	<b>4 292</b>	<b>90</b>	<b>7 234</b>	<b>160</b>	<b>10 175</b>	<b>230</b>	<b>13 125</b>	<b>300</b>	<b>16 076</b>	<b>370</b>	<b>19 027</b>

#### Anexo IV – Excerto de tabela de sondagem –Verificação 2018 - T2015

Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)
	<b>3 479</b>	<b>70</b>	<b>6 409</b>	<b>140</b>	<b>9 339</b>	<b>210</b>	<b>12 280</b>	<b>280</b>	<b>15 228</b>	<b>350</b>	<b>18 176</b>
1	3 521	71	6 451	141	9 381	211	12 322	281	15 270	351	18 218
2	3 563	72	6 493	142	9 423	212	12 364	282	15 312	352	18 261
3	3 605	73	6 535	143	9 465	213	12 406	283	15 354	353	18 303
4	3 646	74	6 577	144	9 507	214	12 449	284	15 396	354	18 345
5	3 688	75	6 619	145	9 549	215	12 491	285	15 439	355	18 387
6	3 730	76	6 660	146	9 591	216	12 533	286	15 481	356	18 429
7	3 772	77	6 702	147	9 632	217	12 575	287	15 523	357	18 471
8	3 814	78	6 744	148	9 674	218	12 617	288	15 565	358	18 514
9	3 856	79	6 786	149	9 716	219	12 659	289	15 607	359	18 556
<b>10</b>	<b>3 898</b>	<b>80</b>	<b>6 828</b>	<b>150</b>	<b>9 758</b>	<b>220</b>	<b>12 701</b>	<b>290</b>	<b>15 649</b>	<b>360</b>	<b>18 598</b>
11	3 939	81	6 870	151	9 800	221	12 743	291	15 691	361	18 640
12	3 981	82	6 912	152	9 842	222	12 785	292	15 733	362	18 682
13	4 023	83	6 953	153	9 884	223	12 828	293	15 775	363	18 724
14	4 065	84	6 995	154	9 925	224	12 870	294	15 818	364	18 767
15	4 107	85	7 037	155	9 967	225	12 912	295	15 860	365	18 809
16	4 149	86	7 079	156	10 009	226	12 954	296	15 902	366	18 851
17	4 191	87	7 121	157	10 051	227	12 996	297	15 944	367	18 893
18	4 233	88	7 163	158	10 093	228	13 038	298	15 986	368	18 935
19	4 274	89	7 205	159	10 135	229	13 080	299	16 028	369	18 977
<b>20</b>	<b>4 316</b>	<b>90</b>	<b>7 246</b>	<b>160</b>	<b>10 177</b>	<b>230</b>	<b>13 122</b>	<b>300</b>	<b>16 070</b>	<b>370</b>	<b>19 019</b>

### Anexo V – Excerto de tabela de sondagem –Verificação 2008 – T402

Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)
	<b>1 887</b>	<b>70</b>	<b>2 763</b>	<b>140</b>	<b>3 638</b>	<b>210</b>	<b>4 514</b>	<b>280</b>	<b>5 389</b>	<b>350</b>	<b>6 265</b>
1	1 900	71	2 775	141	3 651	211	4 526	281	5 402	351	6 277
2	1 912	72	2 788	142	3 663	212	4 539	282	5 414	352	6 290
3	1 925	73	2 800	143	3 676	213	4 551	283	5 427	353	6 302
4	1 937	74	2 813	144	3 688	214	4 564	284	5 439	354	6 315
5	1 950	75	2 825	145	3 701	215	4 576	285	5 452	355	6 327
6	1 962	76	2 838	146	3 713	216	4 589	286	5 464	356	6 340
7	1 975	77	2 850	147	3 726	217	4 601	287	5 477	357	6 352
8	1 987	78	2 863	148	3 738	218	4 614	288	5 489	358	6 365
9	2 000	79	2 875	149	3 751	219	4 626	289	5 502	359	6 377
<b>10</b>	<b>2 012</b>	<b>80</b>	<b>2 888</b>	<b>150</b>	<b>3 763</b>	<b>220</b>	<b>4 639</b>	<b>290</b>	<b>5 514</b>	<b>360</b>	<b>6 390</b>
11	2 025	81	2 900	151	3 776	221	4 651	291	5 527	361	6 402
12	2 037	82	2 913	152	3 788	222	4 664	292	5 539	362	6 415
13	2 050	83	2 925	153	3 801	223	4 676	293	5 552	363	6 427
14	2 062	84	2 938	154	3 813	224	4 689	294	5 564	364	6 440
15	2 075	85	2 950	155	3 826	225	4 701	295	5 577	365	6 453
16	2 087	86	2 963	156	3 838	226	4 714	296	5 589	366	6 465
17	2 100	87	2 975	157	3 851	227	4 726	297	5 602	367	6 478
18	2 112	88	2 988	158	3 863	228	4 739	298	5 614	368	6 490
19	2 125	89	3 000	159	3 876	229	4 751	299	5 627	369	6 503
<b>20</b>	<b>2 137</b>	<b>90</b>	<b>3 013</b>	<b>160</b>	<b>3 888</b>	<b>230</b>	<b>4 764</b>	<b>300</b>	<b>5 639</b>	<b>370</b>	<b>6 515</b>

## Anexo VI – Excerto de tabela de sondagem –Verificação 2018 – T402

Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)
	<b>1 900</b>	<b>70</b>	<b>2 775</b>	<b>140</b>	<b>3 651</b>	<b>210</b>	<b>4 526</b>	<b>280</b>	<b>5 401</b>	<b>350</b>	<b>6 277</b>
1	1 913	71	2 788	141	3 663	211	4 538	281	5 414	351	6 289
2	1 925	72	2 800	142	3 676	212	4 551	282	5 426	352	6 302
3	1 938	73	2 813	143	3 688	213	4 563	283	5 439	353	6 314
4	1 950	74	2 825	144	3 701	214	4 576	284	5 451	354	6 327
5	1 963	75	2 838	145	3 713	215	4 588	285	5 464	355	6 339
6	1 975	76	2 850	146	3 726	216	4 601	286	5 476	356	6 352
7	1 988	77	2 863	147	3 738	217	4 613	287	5 489	357	6 364
8	2 000	78	2 875	148	3 751	218	4 626	288	5 501	358	6 377
9	2 013	79	2 888	149	3 763	219	4 638	289	5 514	359	6 389
<b>10</b>	<b>2 025</b>	<b>80</b>	<b>2 900</b>	<b>150</b>	<b>3 776</b>	<b>220</b>	<b>4 651</b>	<b>290</b>	<b>5 526</b>	<b>360</b>	<b>6 402</b>
11	2 038	81	2 913	151	3 788	221	4 663	291	5 539	361	6 414
12	2 050	82	2 925	152	3 801	222	4 676	292	5 551	362	6 427
13	2 063	83	2 938	153	3 813	223	4 688	293	5 564	363	6 439
14	2 075	84	2 950	154	3 826	224	4 701	294	5 576	364	6 452
15	2 088	85	2 963	155	3 838	225	4 713	295	5 589	365	6 464
16	2 100	86	2 975	156	3 851	226	4 726	296	5 601	366	6 477
17	2 113	87	2 988	157	3 863	227	4 738	297	5 614	367	6 489
18	2 125	88	3 000	158	3 876	228	4 751	298	5 626	368	6 502
19	2 138	89	3 013	159	3 888	229	4 763	299	5 639	369	6 514
<b>20</b>	<b>2 150</b>	<b>90</b>	<b>3 025</b>	<b>160</b>	<b>3 901</b>	<b>230</b>	<b>4 776</b>	<b>300</b>	<b>5 651</b>	<b>370</b>	<b>6 527</b>

## Anexo VII – Excerto de tabela de sondagem –Verificação 2008 – T403

Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)
	<b>1 970</b>	<b>70</b>	<b>2 846</b>	<b>140</b>	<b>3 722</b>	<b>210</b>	<b>4 598</b>	<b>280</b>	<b>5 474</b>	<b>350</b>	<b>6 350</b>
1	1 983	71	2 859	141	3 735	211	4 611	281	5 487	351	6 363
2	1 995	72	2 871	142	3 747	212	4 623	282	5 499	352	6 375
3	2 008	73	2 884	143	3 760	213	4 636	283	5 512	353	6 388
4	2 020	74	2 896	144	3 772	214	4 648	284	5 524	354	6 400
5	2 033	75	2 909	145	3 785	215	4 661	285	5 537	355	6 413
6	2 045	76	2 921	146	3 797	216	4 673	286	5 549	356	6 425
7	2 058	77	2 934	147	3 810	217	4 686	287	5 562	357	6 438
8	2 070	78	2 946	148	3 822	218	4 698	288	5 574	358	6 450
9	2 083	79	2 959	149	3 835	219	4 711	289	5 587	359	6 463
<b>10</b>	<b>2 095</b>	<b>80</b>	<b>2 971</b>	<b>150</b>	<b>3 847</b>	<b>220</b>	<b>4 723</b>	<b>290</b>	<b>5 599</b>	<b>360</b>	<b>6 475</b>
11	2 108	81	2 984	151	3 860	221	4 736	291	5 612	361	6 488
12	2 120	82	2 996	152	3 872	222	4 748	292	5 624	362	6 500
13	2 133	83	3 009	153	3 885	223	4 761	293	5 637	363	6 513
14	2 145	84	3 021	154	3 897	224	4 773	294	5 649	364	6 525
15	2 158	85	3 034	155	3 910	225	4 786	295	5 662	365	6 538
16	2 170	86	3 046	156	3 922	226	4 798	296	5 674	366	6 550
17	2 183	87	3 059	157	3 935	227	4 811	297	5 687	367	6 563
18	2 195	88	3 071	158	3 947	228	4 823	298	5 699	368	6 575
19	2 208	89	3 084	159	3 960	229	4 836	299	5 712	369	6 588
<b>20</b>	<b>2 220</b>	<b>90</b>	<b>3 096</b>	<b>160</b>	<b>3 972</b>	<b>230</b>	<b>4 848</b>	<b>300</b>	<b>5 724</b>	<b>370</b>	<b>6 600</b>

### Anexo VIII - Excerto de tabela de sondagem –Verificação 2018 – T403

Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)
	<b>1 887</b>	<b>70</b>	<b>2 763</b>	<b>140</b>	<b>3 639</b>	<b>210</b>	<b>4 515</b>	<b>280</b>	<b>5 391</b>	<b>350</b>	<b>6 267</b>
1	1 900	71	2 776	141	3 652	211	4 528	281	5 404	351	6 280
2	1 912	72	2 788	142	3 664	212	4 540	282	5 416	352	6 292
3	1 925	73	2 801	143	3 677	213	4 553	283	5 429	353	6 305
4	1 937	74	2 813	144	3 689	214	4 565	284	5 441	354	6 317
5	1 950	75	2 826	145	3 702	215	4 578	285	5 454	355	6 330
6	1 962	76	2 838	146	3 714	216	4 590	286	5 466	356	6 342
7	1 975	77	2 851	147	3 727	217	4 603	287	5 479	357	6 355
8	1 987	78	2 863	148	3 739	218	4 615	288	5 491	358	6 367
9	2 000	79	2 876	149	3 752	219	4 628	289	5 504	359	6 380
<b>10</b>	<b>2 012</b>	<b>80</b>	<b>2 888</b>	<b>150</b>	<b>3 764</b>	<b>220</b>	<b>4 640</b>	<b>290</b>	<b>5 516</b>	<b>360</b>	<b>6 392</b>
11	2 025	81	2 901	151	3 777	221	4 653	291	5 529	361	6 405
12	2 037	82	2 913	152	3 789	222	4 665	292	5 541	362	6 417
13	2 050	83	2 926	153	3 802	223	4 678	293	5 554	363	6 430
14	2 062	84	2 938	154	3 814	224	4 690	294	5 566	364	6 442
15	2 075	85	2 951	155	3 827	225	4 703	295	5 579	365	6 455
16	2 087	86	2 963	156	3 839	226	4 715	296	5 591	366	6 467
17	2 100	87	2 976	157	3 852	227	4 728	297	5 604	367	6 480
18	2 112	88	2 988	158	3 864	228	4 740	298	5 616	368	6 492
19	2 125	89	3 001	159	3 877	229	4 753	299	5 629	369	6 505
<b>20</b>	<b>2 137</b>	<b>90</b>	<b>3 013</b>	<b>160</b>	<b>3 889</b>	<b>230</b>	<b>4 765</b>	<b>300</b>	<b>5 641</b>	<b>370</b>	<b>6 517</b>

# **Anexo IX – Excerto de tabela de sondagem –Verificação 2008 – T404**

Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)
	<b>1 996</b>	<b>70</b>	<b>2 872</b>	<b>140</b>	<b>3 747</b>	<b>210</b>	<b>4 623</b>	<b>280</b>	<b>5 499</b>	<b>350</b>	<b>6 375</b>
1	2 009	71	2 884	141	3 760	211	4 636	281	5 511	351	6 387
2	2 021	72	2 897	142	3 772	212	4 648	282	5 524	352	6 400
3	2 034	73	2 909	143	3 785	213	4 661	283	5 536	353	6 412
4	2 046	74	2 922	144	3 797	214	4 673	284	5 549	354	6 425
5	2 059	75	2 934	145	3 810	215	4 686	285	5 561	355	6 437
6	2 071	76	2 947	146	3 822	216	4 698	286	5 574	356	6 450
7	2 084	77	2 959	147	3 835	217	4 711	287	5 586	357	6 462
8	2 096	78	2 972	148	3 848	218	4 723	288	5 599	358	6 475
9	2 109	79	2 984	149	3 860	219	4 736	289	5 611	359	6 487
<b>10</b>	<b>2 121</b>	<b>80</b>	<b>2 997</b>	<b>150</b>	<b>3 873</b>	<b>220</b>	<b>4 748</b>	<b>290</b>	<b>5 624</b>	<b>360</b>	<b>6 500</b>
11	2 134	81	3 009	151	3 885	221	4 761	291	5 636	361	6 512
12	2 146	82	3 022	152	3 898	222	4 773	292	5 649	362	6 525
13	2 159	83	3 034	153	3 910	223	4 786	293	5 662	363	6 537
14	2 171	84	3 047	154	3 923	224	4 798	294	5 674	364	6 550
15	2 184	85	3 059	155	3 935	225	4 811	295	5 687	365	6 562
16	2 196	86	3 072	156	3 948	226	4 823	296	5 699	366	6 575
17	2 209	87	3 084	157	3 960	227	4 836	297	5 712	367	6 587
18	2 221	88	3 097	158	3 973	228	4 848	298	5 724	368	6 600
19	2 234	89	3 109	159	3 985	229	4 861	299	5 737	369	6 612
<b>20</b>	<b>2 246</b>	<b>90</b>	<b>3 122</b>	<b>160</b>	<b>3 998</b>	<b>230</b>	<b>4 873</b>	<b>300</b>	<b>5 749</b>	<b>370</b>	<b>6 625</b>



### Anexo X – Excerto de tabela de sondagem –Verificação 2018 – T404

Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)	Alt. Sonda (mm)	Capacidade (dm³)
	<b>2 002</b>	<b>70</b>	<b>2 878</b>	<b>140</b>	<b>3 755</b>	<b>210</b>	<b>4 631</b>	<b>280</b>	<b>5 507</b>	<b>350</b>	<b>6 383</b>
1	2 015	71	2 891	141	3 767	211	4 643	281	5 520	351	6 396
2	2 027	72	2 903	142	3 780	212	4 656	282	5 532	352	6 408
3	2 040	73	2 916	143	3 792	213	4 668	283	5 545	353	6 421
4	2 052	74	2 928	144	3 805	214	4 681	284	5 557	354	6 433
5	2 065	75	2 941	145	3 817	215	4 693	285	5 570	355	6 446
6	2 077	76	2 953	146	3 830	216	4 706	286	5 582	356	6 458
7	2 090	77	2 966	147	3 842	217	4 718	287	5 595	357	6 471
8	2 102	78	2 978	148	3 855	218	4 731	288	5 607	358	6 483
9	2 115	79	2 991	149	3 867	219	4 743	289	5 620	359	6 496
<b>10</b>	<b>2 127</b>	<b>80</b>	<b>3 003</b>	<b>150</b>	<b>3 880</b>	<b>220</b>	<b>4 756</b>	<b>290</b>	<b>5 632</b>	<b>360</b>	<b>6 508</b>
11	2 140	81	3 016	151	3 892	221	4 768	291	5 645	361	6 521
12	2 152	82	3 028	152	3 905	222	4 781	292	5 657	362	6 533
13	2 165	83	3 041	153	3 917	223	4 793	293	5 670	363	6 546
14	2 177	84	3 054	154	3 930	224	4 806	294	5 682	364	6 559
15	2 190	85	3 066	155	3 942	225	4 819	295	5 695	365	6 571
16	2 202	86	3 079	156	3 955	226	4 831	296	5 707	366	6 584
17	2 215	87	3 091	157	3 967	227	4 844	297	5 720	367	6 596
18	2 227	88	3 104	158	3 980	228	4 856	298	5 732	368	6 609
19	2 240	89	3 116	159	3 992	229	4 869	299	5 745	369	6 621
<b>20</b>	<b>2 252</b>	<b>90</b>	<b>3 129</b>	<b>160</b>	<b>4 005</b>	<b>230</b>	<b>4 881</b>	<b>300</b>	<b>5 757</b>	<b>370</b>	<b>6 634</b>